

Aus dem Bereich Neuroradiologie der Medizinischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

## **Kognition und Intelligenz – eine fMRT-Studie**

Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der  
Universität des Saarlandes  
2011

vorgelegt  
von Sylvia Karin Langohr  
geb. am 01.07.1981 in Stamford/USA

Gutachter

1. ....

2. ....

3. ....

Tag der öffentlichen Verteidigung:.....

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACC	anterior cingulate cortex (anteriores Cingulum)
BA	Brodmann-Areal
CRT	Choice-RT
DT	decision time (Entscheidungszeit)
EEG	Elektroenzephalogramm
ERP	event-related potentials (ereigniskorrelierte Potentiale)
fMRI	functional Magnetic Resonance Imaging
fMRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
g (-Faktor)	Generalfaktor
GM	gray matter (graue Hirnsubstanz)
HAWIE	Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene
hIQ	Handlungs-IQ
IQ	Intelligenzquotient
IT	inspection time (Inspektionszeit)
MEG	Magnet-Enzephalo-Graphie
MRT	Magnetresonanztomographie
MT	movement time (Bewegungszeit)
OMO	Odd-Man-Out
p	probability (p-Wert bzw. Signifikanzwert)
PET	Positronenemissionstomographie
PLDs	Point-Light Displays
RT	reaction time (Reaktionszeit)
STS	superiorer Temporalsulcus
Tab.	Tabelle
VBM	Voxel-basierte Morphometrie
vIQ	verbaler IQ
WAIS	Wechsler Adult Intelligence Scale

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung / Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>8</b>
2.1	Intelligenz.....	9
2.1.1	Definitionen der Intelligenz .....	10
2.1.2	Intelligenzmodelle .....	11
2.1.3	Intelligenzmessungen.....	13
2.1.4	Intelligenzforschung.....	15
2.1.4.1	Historisches.....	15
2.1.4.2	Aktueller Forschungsstand.....	16
2.2	Die „Biologische Bewegung“ .....	24
2.3	Ziele der Arbeit .....	29
<b>3</b>	<b>Material und Methode .....</b>	<b>30</b>
3.1	Versuchspersonen.....	30
3.2	Stimuli .....	31
3.3	RT-Experiment.....	34
3.4	fMRT-Experiment.....	34
<b>4</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>35</b>
4.1	Verteilung der IQ-Ergebnisse innerhalb des Kollektivs .....	35
4.2	Diskriminierbarkeit der Punktemuster .....	36
4.3	Ergebnisse des RT-Experiments .....	37
4.4	Ergebnisse des fMRT-Experiments .....	40
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>43</b>
5.1	Diskussion der IQ-Ergebnisse .....	43
5.2	Diskussion der „Johannson-like“ Stimuli .....	47
5.3	Diskussion des RT-Experiments.....	50
5.4	Diskussion des fMRT-Experiments.....	59
5.4.1	Studien mit positiver Korrelation zwischen IQ und Aktivität .....	60
5.4.2	Studien mit positiver Korrelation zwischen IQ und Hirnvolumen.....	64
5.4.3	Studien mit negativer Korrelation zwischen IQ und Aktivität.....	70

-Inhaltsverzeichnis-

5.4.4	Studien mit unterschiedlichen Strategien.....	73
5.5	Beziehung zwischen den Hirnaktivitäten und der Reaktionsgeschwindigkeit ..	77
5.6	Mögliche Bedeutung der unterschiedlichen Aktivitätsmuster .....	78
5.7	Zusammenfassung & Schlussfolgerungen.....	81
<b>6</b>	<b>Verzeichnisse .....</b>	<b>83</b>
6.1	Literaturverzeichnis.....	83
6.2	Abbildungsverzeichnis .....	99
6.3	Tabellenverzeichnis .....	100
<b>7</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>101</b>
<b>8</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>102</b>

## **1 Zusammenfassung / Abstract**

### **Zusammenfassung**

Wir sind in der Lage leicht und schnell eine biologische Bewegung, beispielsweise die eines gehenden Menschen, von verschiedenen Blickwinkeln aus zu erkennen, ungeachtet ihrer Position und unter einer großen Vielfalt von erschwerenden, umgebenden Bedingungen. Diese außergewöhnliche Kognition galt in den vergangenen Jahren als ein Hauptthema der Neurowissenschaften, ebenso wie die extrem ausgedehnte Forschung auf dem Gebiet der Intelligenz.

Die vorliegende Studie untersucht ein IQ-abhängiges neuronales System, welches an der Integration von Form- und Bewegungsinformation während der Verarbeitung von bewegten Objekten beteiligt ist. 26 Teilnehmer (13 männliche und 13 weibliche) im Alter von 17-20 Jahren unterzogen sich der deutschsprachigen WAIS-III, einer Reaktionszeitaufgabe und Messungen mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT). In beiden Versuchen wurden „Johansson-like“-Figuren und ihre durcheinandergewürfelten Versionen präsentiert, während der fMRT-Messungen wurden die Probanden jedoch gebeten, die Stimuli ausschließlich zu beobachten.

Auf der Verhaltensebene erreichten die intelligenteren Probanden signifikant kürzere Reaktionszeiten, wie bereits zu erwarten war. Die Aufgabe konnte außerdem als ein gültiges Maß für individuelle Intelligenzunterschiede bestätigt werden.

Auf neuronaler Ebene waren die IQ-Werte sowohl mit verstärkten, als auch mit verminderten Aktivitäten in verschiedenen Hirnregionen assoziiert, was auf ein individuelles Verarbeitungsnetzwerk hindeutet. Die Funktionen der Brodmann-Areale, deren Aktivierungen signifikant mit den IQ-Werten korrelierten, werden dargestellt und im Zusammenhang mit der biologischen Bewegung und dem aktuellen Verständnis von Intelligenz näher erläutert. Die Ergebnisse dieser Arbeit weisen auf ein neuronales Netzwerk hin, welches an der Kognition von biologischer Bewegung beteiligt ist, wobei signifikant variierende Verarbeitungsmuster hervortreten, die je nach zugrunde liegender Intelligenz auf den Nutzen unterschiedlicher Strategien schließen lassen.

## **Abstract**

Humans easily and rapidly recognize biological motion, for example a walking person, from a variety of viewpoints, regardless of his/her position, and under a great diversity of image conditions. This extraordinary cognition has been a central topic of investigation in neuroscience in the past years, as well as the enormously extended research in the field of intelligence.

The current study investigated an IQ-dependent neural system involved in integrating form and motion information during dynamic object processing. 26 participants (13 men and 13 women) aged 17-20 years completed the German WAIS-III, a reaction time task and underwent functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) measurements. In both experimental series “Johansson-like” figures and their scrambled versions were presented, however, during the fMRI-procedure the participants were requested to only observe the images.

On the behavioural level, the more intelligent subjects achieved, as expected, significantly shorter reaction times. The task was approved to be a valid measure explaining the variance in human intelligence.

On the neural level, the IQ results were associated with, on the one hand, increased, and on the other hand, reduced activations in distinct brain regions, implicating an individual processing network. The functions of the Brodmann areas, whose activity significantly correlated with IQ, were presented and explained in the context of biological motion and the current understanding of intelligence. Thus, the results suggest a neural network involved in the cognition of biological motion which exhibits significantly varying patterns presenting different use of strategy depending on the underlying intelligence.

## **2 Einleitung**

Das Erkennen von biologischer Bewegung ist ein kognitiver Prozess, den die meisten Menschen für selbstverständlich halten. Ohne diese schnelle, präzise und weitgehend unbewusste Verarbeitung wäre das Zurechtkommen des Individuums im sozialen Umfeld jedoch wesentlich erschwert. Viele Forscher stellen die Hypothese auf, dass die Wahrnehmung der Bewegung anderer auf ganz spezifische Hirnregionen zurück zu führen sei. Durch moderne funktionelle bildgebende Verfahren wie funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT) und Positronenemissionstomographie (PET) wird es zunehmend möglich, Einblicke in beteiligte neuronale Systeme zu erhalten.

Ein Faktor, der womöglich modulierend auf die oben beschriebene Verarbeitung wirkt, ist die Intelligenz einer Person. Ähnlich wie bei der Wahrnehmung biologischer Bewegung gibt es zahlreiche Nachforschungen, die auf der Suche nach einem neuronalen Korrelat der Intelligenz sind.

In der bisherigen Literatur gibt es noch keine Studie, welche die Beziehung zwischen Intelligenz und dem Erkennen einer biologischen Bewegung untersucht hat. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Fragen, ob bei intelligenteren Personen bereits beim Beobachten ihrer sozialen Umwelt bestimmte Hirnaktivierungen auftreten, und ob diese fähig sind, schneller auf die Wahrnehmung einer biologischen Bewegung zu reagieren.

Im Folgenden werden der Stand der Intelligenzforschung und die Hintergründe der biologischen Bewegung näher vorgestellt. Anschließend werden die Forschungsziele der Dissertation sowie Details des eigentlichen Versuchs geschildert. Zum Abschluss werden die Ergebnisse vorgestellt, diskutiert und in einen größeren Zusammenhang gestellt.



## **2.1    *Intelligenz***

Im Laufe der Jahre hat man mit zahlreichen Methoden und Ansätzen versucht, dem neuronalen Korrelat der Intelligenz auf den Grund zu gehen. Die ständige Weiterentwicklung auf technischer Ebene erlaubte es, das Gehirn auf verschiedene Weisen zu untersuchen, um neue Beziehungen zur Intelligenz herzustellen, allerdings mit der Folge erneut aufkommender, ungeklärter Fragen.

Schon früh beschäftigte man sich mit der Definition der Intelligenz, ihrer Zerlegung in mehrere Faktoren durch Strukturmodelle wie z.B. fluide vs. kristalline Intelligenz, multiple Faktoren oder g-Faktor (Generalfaktor), der bestmöglichen Messmethode und ihrer Bedeutung für unseren Alltag. Des Weiteren untersuchte man die Intelligenz im Hinblick auf Aktivierungen im fMRT, PET oder EEG (Elektroenzephalogramm), Hirnvolumen (sowohl das Gesamte als auch die Volumina verschiedener Areale), Einfluss der Erbllichkeit und der Plastizität, und Reaktionszeiten und ihrer Einzelkomponenten.

### 2.1.1 Definitionen der Intelligenz

Intelligenz ist schwer zu definieren, und tatsächlich gibt es wenig Konsens zwischen den Forschern bezüglich der Frage, was mit Intelligenz gemeint ist (Schweizer, 2006). An dieser Stelle sei hier daher eine kleine Auswahl von Definitionen zusammengestellt:

Intelligenz (lat.: *intelligentia* „Einsicht, Erkenntnisvermögen“, *intellegere* „verstehen“) bezeichnet im weitesten Sinne die Fähigkeit zum Erkennen von Zusammenhängen und zum Finden optimaler Problemlösungen.

In der Psychologie ist Intelligenz ein Sammelbegriff für die kognitiven Fähigkeiten des Menschen, also die Fähigkeit, zu verstehen, zu abstrahieren und Probleme zu lösen, Wissen anzuwenden und Sprache zu verwenden.

aus Wikipedia („Intelligenz“: <http://de.wikipedia.org/wiki/Intelligenz> )

William Stern (1912) sagte: „Intelligenz ist die allgemeine Fähigkeit eines Individuums, sein Denken bewusst auf neue Forderungen einzustellen. Sie, die Intelligenz, ist die geistige Anpassungsfähigkeit an neue Aufgaben und Bedingungen des Lebens.“

Ein weniger bekannter Autor, Krollman, definiert Intelligenz als die Fähigkeit des Individuums, anschaulich oder abstrakt in sprachlichen, numerischen und raumzeitlichen Beziehungen zu denken. Sie ermöglicht die erfolgreiche Bewältigung komplexer Situationen und mit Hilfe jeweils besonderer Fähigkeitsgruppen auch ganz spezifischer Situationen und Aufgaben.

aus <http://www.schulpsychologie.de/downloads/kuhlmann/begabung.pdf>

### 2.1.2 Intelligenzmodelle

Als Fachbegriff der Psychometrie wurde „Intelligenz“ in der Zeit um 1900 geprägt, wobei der inhaltliche Impuls aus dem englischen Sprachraum kam (Charles Spearman, Louis Leon Thurstone). Die ersten grundlegenden Strukturmodelle waren folgende:

1904 begründete Spearman die erste Zwei-Faktoren-Theorie der Intelligenz. Er verglich die Leistungen von Menschen in verschiedenen Leistungstests und stellte fest, dass diejenigen, die in einem Test gut waren, tendenziell auch in anderen Tests gut abschnitten. Deshalb nahm er eine ‚einheitliche Fähigkeit‘ der Intelligenz an, die allen intellektuellen Leistungen mehr oder weniger stark zugrunde liegt. Sie drückte sich in einem Allgemeinen Faktor (Generalfaktor: g-Faktor) aus, der ein Maß der allgemeinen und angeborenen ‚geistigen Energie‘ sein sollte.

Louis Leon Thurstone (1938) kritisierte diese Theorie als Artefakt der zugrundeliegenden Methode und isolierte mit seinen Tests und seiner Faktorenanalyse sieben relativ unabhängige Faktoren geistiger Fähigkeiten (primary mental abilities). Die „Multiple-Faktoren-Theorie“ beinhaltet räumliches Vorstellungsvermögen, Rechenfähigkeit, Sprachverständnis, Wortflüssigkeit, Gedächtnis, Wahrnehmungsgeschwindigkeit und logisches Denken.

Raymond Bernard Cattell (1963) versuchte das Spearmansche Modell in einem hierarchischen Modell der Intelligenz zu bewahren, indem er zwei Faktoren zweiter Ordnung ermittelte. Die fluide Intelligenz bezeichnet dabei die aktuelle Fähigkeit, schnell und effizient mit neuen Herausforderungen umzugehen und die kristalline Intelligenz mehr die strategische Wissens- und Erfahrungskomponente intelligenten Handelns.

aus Wikipedia („Charles Spearman“: [http://de.wikipedia.org/wiki/Charles\\_Spearman](http://de.wikipedia.org/wiki/Charles_Spearman))

Adolf Otto Jäger entwarf 1984 ein deskriptives Modell, welches hierarchisch und bimodal strukturiert ist. Jäger extrahiert sieben hochgradig generelle Hauptkomponenten in zwei aufgestellten Modalitäten, wobei diese unterschiedliche Aspekte benennen, unter denen sich dieselben Gegenstände klassifizieren lassen. Die allgemeine Intelligenz „g“ umfasst alle sieben der genannten Hauptkomponenten. Die aufgeführten Strukturkomponenten, sowie „g“, sieht Jäger nicht als endgültig an; sie sollen eher als Modellkern angesehen werden, der offen ist für Ergänzungen weiterer operativer und inhaltsgebundener Einheiten, Ansiedlungen von Einheiten zwischen „g“ und den sieben Hauptkomponenten, Differenzierungen in speziellere Einheiten und die Ergänzungen weiterer Modalitäten.

aus Wikipedia („Intelligenz“: <http://de.wikipedia.org/wiki/Intelligenz>)

Es wurden im Laufe der Zeit noch weitere Strukturmodelle geschaffen, während bis heute die Diskussion um die Grundkonzepte der Intelligenz anhält. In der Forschung arbeitet man vor allem mit den Modellen von Spearman (Duncan et al., 2000; Obonsawin et al., 2002; Wilke et al., 2003; Frangou et al., 2004; Colom et al., 2006), Thurstone (Neubauer et al., 2004) oder Cattell (Gray et al., 2003; Gong et al., 2005; Geake & Hansen, 2005; Jaeggi et al., 2008; Perfetti et al., 2009).

### 2.1.3 Intelligenzmessungen

Während der Entwicklung von kognitiven Erklärungsansätzen für individuelle Unterschiede bei der Erbringung intellektueller Leistungen, begann man kognitive Tests zu entwerfen und anzuwenden. Bereits Ende des 19. Jahrhunderts versuchten amerikanische, englische, französische und deutsche Psychologen individuelle Intelligenzunterschiede zu messen:

Der Begriff „Intelligenzquotient“ (IQ) wurde 1912 von William Stern geprägt. Bei dem 1904 von Alfred Binet entwickelten ersten brauchbaren Intelligenztest wurde die Zahl der gelösten Testaufgaben zum Alter des jeweiligen Kindes in Relation gesetzt. (...) Die ursprünglich nur für Kinder, speziell für Schulreife-tests, entwickelte IQ-Berechnung wurde später von David Wechsler durch Anwendung der populationsbezogenen Skalierung mit dem Mittelwert 100 auf Erwachsene ausgedehnt.

aus Wikipedia („Intelligenzquotient“: <http://de.wikipedia.org/wiki/Intelligenzquotient> )

Wechsler entwickelte einen umfassenderen Begriff von Intelligenz, der auch nicht-intellektuelle Aspekte der Persönlichkeit umfasste. Für ihn ist Intelligenz "die zusammengesetzte oder globale Fähigkeit des Individuums, zweckvoll zu handeln, vernünftig zu denken und sich mit seiner Umgebung wirkungsvoll auseinanderzusetzen."

Damit bauen seine Tests auf der Annahme auf, dass die Intelligenz sich aus verschiedenen Fähigkeiten zusammensetzt (...) und setzt seine Tests aus einem Verbal- und Handlungsteil zusammen. Im Jahr 1955 entwickelte er einen weiteren Intelligenztest für Erwachsene, die „Wechsler Adult Intelligence Scale“ (WAIS). Nach Deutschland wurde von Curt Bondy 1956 die WAIS als HAWIE (Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene) übertragen.

aus Wikipedia („David Wechsler“: [http://de.wikipedia.org/wiki/David\\_Wechsler](http://de.wikipedia.org/wiki/David_Wechsler) )

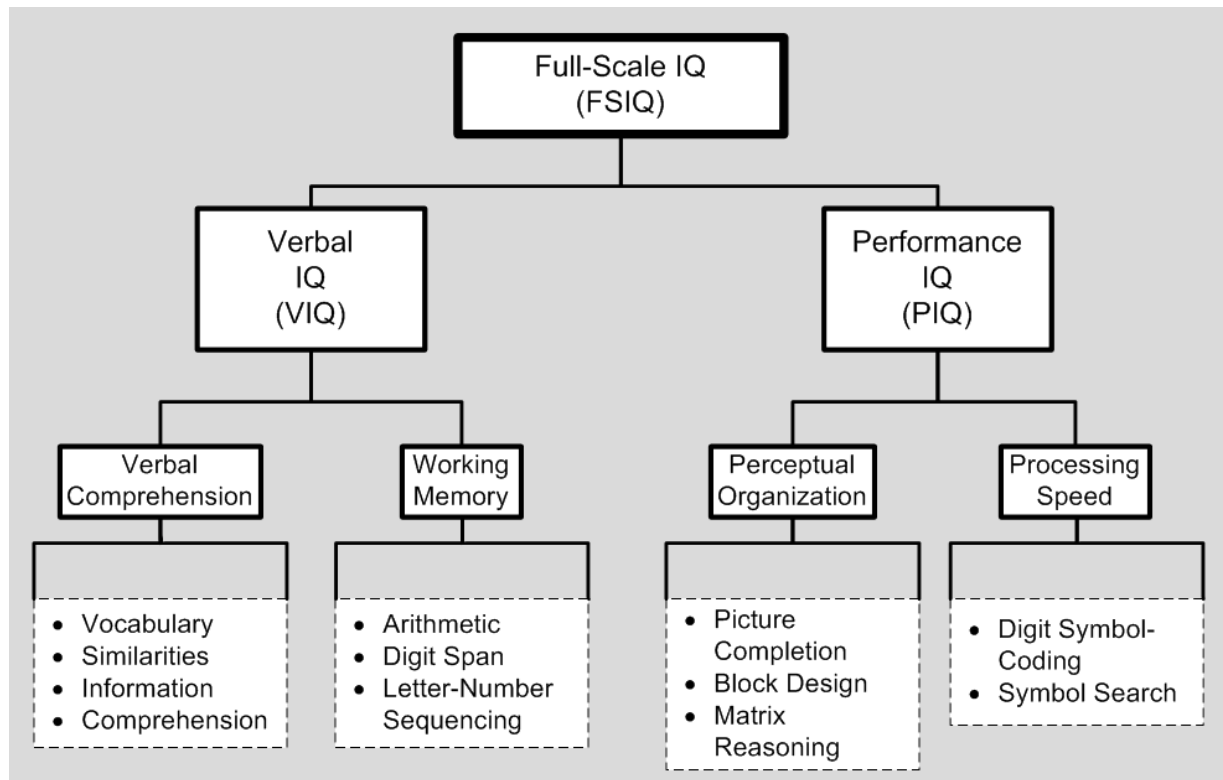


Abb. 1: Nach Wechsler wird die allgemeine Intelligenz durch zwei Untertests für verbale Intelligenz und Handlungsintelligenz gemessen, aus [http://en.wikipedia.org/wiki/Wechsler\\_Adult\\_Intelligence\\_Scale](http://en.wikipedia.org/wiki/Wechsler_Adult_Intelligence_Scale)

Heute ist die WAIS (s. Abb. 1) einer der am häufigsten angewandten Intelligenztests (z.B. in Gevins & Smith, 2000; Obonsawin et al., 2002; Posthuma et al., 2002; Wilke et al., 2003; Frangou et al., 2004; Narr et al., 2006; Colom et al., 2006; Hulshoff et al., 2006; Schmithorst & Holland, 2006) und wird auch in der vorliegenden Arbeit eingesetzt.

Als Anforderung für sämtliche Intelligenztests gilt, sowohl dass die unterschiedliche Performance verschiedener Personen sich in ihrer ganzen Breite in den Ergebnissen widerspiegelt, als auch dass bei Durchführung verschiedener Tests möglichst vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Dies bedeutet, dass IQ-Tests und andere Messungen der Intelligenz auf solche Art und Weise konstruiert werden, um möglichst genau einzuschätzen, wie eine Person in vielen verschiedenen Situationen voraussichtlich eine Leistung erbringen wird (Garlick, 2002).

## **2.1.4 Intelligenzforschung**

### **2.1.4.1 Historisches**

Die Essenz der menschlichen Intelligenz ist schon seit Jahrhunderten ein Thema von beachtlichem Interesse.

Die konventionellen, psychometrischen Studien intellektueller Leistungsfähigkeit wurden von Versuchen begleitet, individuelle Intelligenzunterschiede mit biologischen Maßen, meist äußeren anthropologischen Merkmalen, zu korrelieren. Samuel George Morton (19. Jahrhundert) maß das Schädelvolumen und kam zu dem Schluss, dass Weiße ein größeres Volumen als Schwarze haben, wobei er Volumen mit Intelligenz gleichsetzte. Die Ergebnisse kamen allerdings durch stark verfälschte Stichproben und Weglassen ungünstiger Ausfälle zu Stande. Robert Bennett Bean (1906) untersuchte einige Zeit später die Vernetzung beider Gehirnhälften, wobei er die höhere Intelligenz im vorderen Bereich vermutete und schlussfolgerte: Wer vorne stärker vernetzt sei, besitze eine größere Intelligenz (Gould, 1988).

1907 wurden in neuroanatomischen Studien von Spitzka die postmortalen Hirngewichte außerordentlicher Personen untersucht und in Bezug zu ihren Fähigkeiten gesetzt. Spitzka behauptete, dass als höher eingeordnete Fähigkeiten mit größerem Hirngewicht assoziiert seien. Diese frühen Schlussfolgerungen wurden auf Grund von Einschränkungen in der Methodik herausgefordert. Die Intelligenz basierte auf subjektiver Beurteilung der Berufstätigkeit oder des Bedeutungsgrads, quantitative Datenanalysen waren nicht verfügbar und es bestanden zahlreiche Ausnahmen (Gould, 1988).

Die Verwendung der Reaktionszeit (engl.: reaction time, RT) als ein Maß der Intelligenz geht auf Sir Francis Galton (1883) and James McKeen Cattell (1890) zurück und blieb bis in die Gegenwart für die Intelligenzforschung ein Thema von großem Interesse. Galton hatte behauptet, höhere Intelligenz sei das Resultat größerer „mentaler Geschwindigkeit“, welche durch eine kürzere RT reflektiert wäre. Dabei entsprach RT der Zeit zwischen einem visuellen oder auditiven Stimulus und einer bestimmten Antwort, wie z.B. dem Drücken einer Taste. Aufgrund rein technischer Mängel zu jener

Zeit wurden diese frühen Bestrebungen voreilig als erfolglos betrachtet, sodass die Nachforschungen der Relation zwischen RT und Intelligenz in der Geschichte der differenziellen Psychologie vorerst wieder verlassen wurden (Reed & Jensen, 1992).

Mit der Entwicklung neuer Technologien der funktionellen und strukturellen Bildgebung in den 70-er Jahren und ihrem Fortschritt in den letzten Jahrzehnten haben sich einzigartige Möglichkeiten zum Studium der neurobiologischen Korrelate der Intelligenz ergeben.

#### **2.1.4.2 Aktueller Forschungsstand**

Im Vordergrund steht heutzutage hauptsächlich die Suche nach dem Ort im Gehirn, welcher die Intelligenz bedingen soll. Während manche Forscher solch eine Frage für unsinnig halten -wie sollte eine einzelne Hirnfunktion für etwas so Komplexes verantwortlich sein-, scheint für andere die Vorstellung einer gesonderten Gruppe von Hirnregionen, die unsere Intelligenz steuert, nicht so seltsam (Jung & Haier, 2007).

Neue bildgebende Verfahren ermöglichen es Hirnaktivitäten zu messen, während Probanden Probleme lösen, die zumeist Aufgaben aus Intelligenztests ähnlich sind. Diese Messungen vermögen sowohl eine neue und vielleicht umfassendere Betrachtung der Intelligenz, als auch einen Einblick in die Grundlagen individueller Unterschiede zu bieten.

Aus einer Vielzahl publizierter Studien resultieren einerseits Ergebnisse, die positive Korrelationen zwischen IQ und Aktivierungen bestimmter Hirnregionen mittels fMRT (Gray et al., 2003; Geake & Hansen, 2005; Lee et al., 2006) oder PET (Duncan et al., 2000; Cabeza et al., 2002) aufweisen und somit andeuten, dass verstärkte Aktivität mit besserer kognitiver Leistungsfähigkeit assoziiert ist. Auf der anderen Seite gibt es Studien, darunter auch Messungen mit dem EEG, die negative Korrelationen zwischen Hirnaktivität und Intelligenz präsentieren (Grabner et al., 2003; Jausovec & Jausovec, 2004; Neubauer et al., 2004; Neubauer & Fink, 2005). Mit ihrer sogenannten „Effizienztheorie“ wird beschrieben, wie intelligenter Personen durch eine effektivere



Hirnfunktion charakterisiert zu sein scheinen. Die Aktivität ist während kognitiver Aktion allgemein weniger vorhanden bzw. stärker fokussiert.

Da in der vorliegenden Arbeit die Hirnaktivitäten mittels fMRT gemessen wurden, wird das Verfahren an dieser Stelle kurz erläutert:

Die funktionelle Magnetresonanztomographie (von griechisch tomós Schnitt, gráphein schreiben), abgekürzt fMRT, ist ein bildgebendes Verfahren mit hoher räumlicher Auflösung zur Darstellung von aktivierten Strukturen im Inneren des Körpers, insbesondere des Gehirns.

Die fMRT stellt eine Möglichkeit dar, funktionelle Zusammenhänge biologischer Strukturen (meist die Stoffwechselaktivität von Hirnarealen) darzustellen. Hierbei macht man sich die unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften von oxygeniertem und desoxygeniertem Blut zu nutze (BOLD-Effekt). Bei der Aktivierung von Kortexarealen kommt es zu einer Steigerung des Stoffwechsels, wodurch das aktivierte Areal mit einer überproportionalen Erhöhung des Blutflusses reagiert. Dadurch erhöht sich die Konzentration von oxigeniertem relativ zu desoxigeniertem Hämoglobin, was zu einer Veränderung der effektiven Querrelaxationszeit und damit zu einer Signaländerung führt.

Aufnahmen zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten (Ruhezustand und stimulierter Zustand) können durch statistische Testverfahren miteinander verglichen und die Unterschiede (=stimulierte Areale) räumlich zugeordnet und dargestellt werden.

aus Wikipedia („funktionelle Magnetresonanztomographie“: <http://de.wikipedia.org/wiki/FMRT> )

## -Einleitung-

Zum besseren Verständnis der in dieser Arbeit besprochenen Hirnareale sollen folgende Abbildungen dienen:

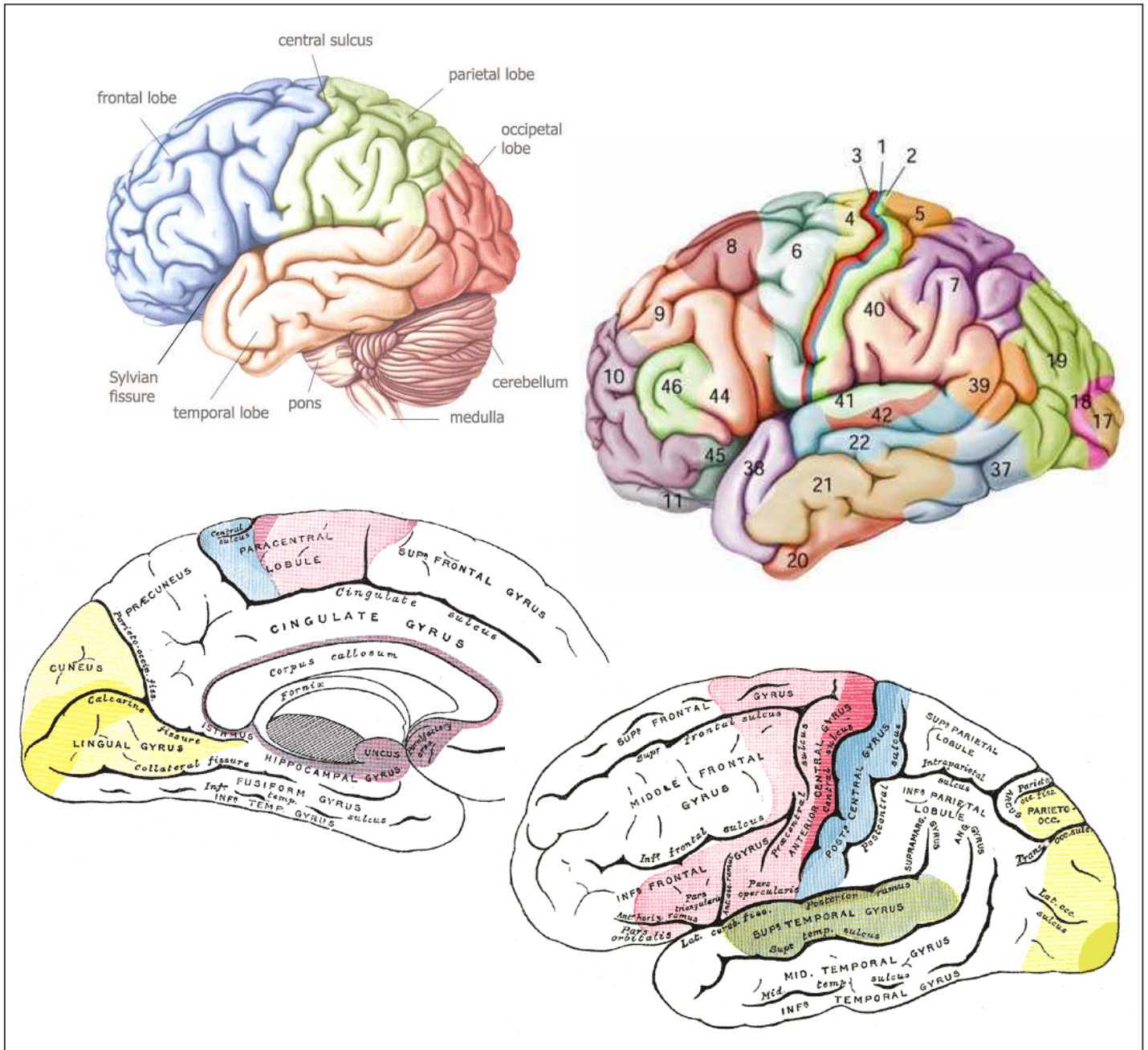


Abb. 2: Übersicht der Hirnlappen aus <http://addiandcassi.com/np-c/dementia-in-4-year-olds-think-about-it/>, Brodmann-Areale (BA) aus [http://cyrille.chagnon.free.fr/NeuroSciences/PagesCours/ch\\_encephale.htm](http://cyrille.chagnon.free.fr/NeuroSciences/PagesCours/ch_encephale.htm) und Gyri & Sulci aus <http://www.wikidoc.org/index.php/Image:Gray756.png> bzw. ...757.png

Trotz der vielen Nachforschungen ist bis heute erstaunlich wenig über die „Lokalisation“ der Intelligenz im Gehirn bekannt. Visiospatiale Fähigkeiten schreibt man dem Parietalkortex zu, während man eine Vielzahl von individuellen kognitiven Subfunktionen den Regionen des Frontalkortex zuordnet (Duncan et al., 2000; Obonsawin et al., 2002; Cabeza et al., 2002; Gray et al., 2003; Jausovec & Jausovec, 2004; Neubauer et al., 2004; Geake & Hansen, 2005; Perfetti et al., 2009). Eine zentral ausführende Region wurde noch nicht übereinstimmend identifiziert (Gong et al., 2005; Colom et al., 2006).

Einen anderen Ansatz, um nach funktionellen Regionen zu suchen, die für Intelligenzunterschiede entscheidend sind, bieten Läsionsstudien (Büchel et al., 1998; Waltz et al., 1999; Stewart et al., 2001, Gläscher et al., 2009). Nach Studien mit Frontalhirnläsionen nahm man an, dass Frontalhirnfunktionen eine zentrale Rolle bei der Intelligenz spielen (Waltz et al., 1999). Gläscher et al. entdeckten sogar hochspezifische Beziehungen zwischen lokalen GM-Läsionen (engl.: gray matter, graue Hirnsubstanz) und kognitiven Defiziten.

Eine weitere Forschungsrichtung konzentriert sich auf Messungen des Hirnvolumens (Wilke et al., 2003; Walhovd et al., 2004; Haier et al., 2004; Witelson et al., 2006; Colom et al., 2006), bzw. der Gehirndichte (Frangou et al., 2004), -dicke (Narr et al., 2006; Shaw et al., 2006) oder -kapazität (MacLulich et al., 2002), die man in Hinblick auf einen möglichen Zusammenhang mit der Intelligenz untersuchte.

Nachdem Spitzka 1907 neuroanatomische Nachforschungen über das postmortale Hirngewicht durchführte, gab es bis vor kurzem keine weiteren ähnlichen Studien. Witelson et al. (2006) nahmen diese Methode schließlich wieder auf und untersuchten zusätzlich das Hirnvolumen durch die Wasserverdrängungsmethode, da sie behaupteten, so könne das Volumen präziser bestimmt werden als mit MRT-Messungen, deren Bilder von der Differenzierung zwischen Hirngewebe und anderen Strukturen abhängig seien. Gewicht und Volumen korrelierten mit 0,95, weswegen in ihrer Studie letztendlich die Volumenmaße verwendet wurden, um sie besser mit anderen Studien vergleichen zu können. Als relevante Faktoren in Bezug zur Hirngröße und Intelligenz betrachteten sie das Alter, Geschlecht und die hemisphärische funktionelle Lateralisierung. Auch wenn sie demonstrieren konnten, dass allgemeine multifaktorielle Messungen der Intelligenz

mit dem Hirnvolumen korrelierten, nahmen sie an, dass man noch stärkere und deutlichere Beziehungen finden könnte, wenn man die Größe funktionell spezifischer Regionen in Bezug zu bestimmten kognitiven Fähigkeiten untersuchen würde.

Diesen Ansatz hatten bereits zuvor einige Forscher aufgegriffen und gezeigt, dass entweder ganze Hirnregionen, GM-Cluster oder sogar einzelne Voxel (Wilke et al., 2003; Frangou et al., 2004; Haier et al., 2004; Gong et al., 2005; Colom et al., 2006), anhand von Voxel-basierter Morphometrie (VBM) ermittelt, mit dem IQ bzw. den verschiedenen Untertests positiv korrelierten. Allerdings widersprachen sich die Ergebnisse der eben genannten Studien in vielen Punkten. Zumindest ein Teil dieser Inkonsistenz könnte darauf beruhen, dass bestimmte Faktoren wie Alter, Geschlecht oder Körpergröße nicht kontrolliert, verschiedene kognitive Maße untersucht und unterschiedliche Methoden der bildgebenden Analyse gewählt wurden. Trotzdem haben volumetrische Studien den entscheidenden Vorteil gegenüber funktionellen, von den Einflüssen der experimentellen Aufgaben unabhängig zu sein, während funktionelle Messungen und ihre Interpretationen stark an die Aufgaben gebunden sind, die die Hirnaktivierungen veranlassen.

Statt die Hirngröße zu messen, überprüften MacLulich et al. (2002) die Hirnkapazität von 65- bis 70-jährigen Männern. Das intrakranielle Volumen verändert sich ab einem Alter von 7 Jahren ca. 60 Jahre lang nicht. Somit kann man das ursprüngliche Hirnvolumen einer inzwischen älteren Person abschätzen und das Ausmaß der Hirnatrophie beim Altern bestimmen. Die Resultate zeigten, dass die intrakranielle Kapazität positiv mit verschiedenen Tests der allgemeinen Intelligenz korrelierte.

Eine ähnliche Überlegung hatten Tisserand et al. (2001), die sich mit der Kopfgröße von 50 bis 81-jährigen Erwachsenen beschäftigten. Im Kindesalter und der Adoleszenz steigt die Gehirnmasse an und als Folge davon die Kopfgröße. Ab dem 20. Lebensjahr beginnt das Hirnvolumen wieder abzunehmen, während die Kopfgröße konstant bleibt. In ihrer Arbeit steht die Kopfgröße in Bezug zum IQ und zur Geschwindigkeit von Informationsverarbeitung, unabhängig vom Ausbildungsniveau, sozioökonomischem Hintergrund oder der Körpergröße. Hiermit bestätigten moderne Messungen viele der früheren Beobachtungen, z.B. die Schädelmessungen des 19. Jahrhunderts, die zwischenzeitlich stark kritisiert worden waren (Gould, 1988).

Zahlreiche Zwillingsstudien befassen sich mit der Erbllichkeit der Hirnstruktur (Baaré et al., 2001; Thompson et al., 2001; Hulshoff et al., 2006) oder dem IQ (Toga & Thompson, 2005). Die Variation des gesamten GM-Volumens eines erwachsenen Gehirns ist primär (70 - 80%) genetisch festgelegt. Aber obwohl das gesamte GM-Volumen positiv mit dem IQ korreliert, bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass die Gene fokale Hirnstrukturen auf dieselbe Art und Weise übers ganze Gehirn beeinflussen (Hulshoff et al., 2006). Es konnte sogar gezeigt werden, dass Intelligenz und das Hirnvolumen bestimmter Areale über einen gemeinsamen genetischen Faktor gemittelt werden. Trotz intensiver Nachforschungen ist es jedoch noch nicht gelungen, der genauen genetischen Substanz der Intelligenz auf den Grund zu kommen.

Dass die Genetik jedoch nicht den einzigen Einflussfaktor darstellt, der die Variabilität der Hirnstruktur und der Intelligenz bestimmt, scheint gewiss zu sein. Hinzu kommen die Einflüsse aus der Umwelt. Viele Studien zeigen, dass das Gehirn sich lokal, auf verschiedene äußere Stimuli hin, plastisch verändern kann (Petersen et al., 1998; Draganski et al., 2006; May et al., 2007).

Garlick (2002) stellte die Hypothese auf, dass der Unterschied zwischen verschiedenen hohen IQ-Werten auf einer Varianz der Plastizität beruht. Er vermutete, dass Personen einen höheren IQ-Wert in ihrer Entwicklung bis zum Alter von 16 Jahren erreichen, wenn eine bestimmte Neigung zu stärkeren plastischen Veränderungen auf äußere Stimuli gegeben ist. Dadurch würden die Verbindungen zwischen den Neuronen so optimal angepasst werden, dass dieses Netzwerk zur stärkeren Entwicklung von intellektuellen Fähigkeiten führe.

Ein weiterer großer Anteil in der Intelligenzforschung fokussiert auf die kognitive bzw. mentale Geschwindigkeit. Der Ansatz führt auf die Vorstellung zurück, dass kognitive bzw. intellektuelle Fähigkeiten in elementare, kognitive Prozesse zerlegt werden könnten, welche vermutlich eine wichtige Grundlage intellektueller Leistungsfähigkeiten bilden (Neubauer & Fink, 2005). Nachdem Galton 1883 keinen Erfolg hatte eine Relation zwischen RT und Intelligenz herzustellen, wurde in den 60-er Jahren wieder mehr Interesse an jener Theorie gezeigt. Seitdem gilt die negative Korrelation zwischen

der RT oder bestimmten anderen Messwerten der Geschwindigkeit und dem IQ als gut etabliert. Die mentale Geschwindigkeit stellt heutzutage einen wesentlichen Aspekt der Intelligenz dar und wird als ein höchst präzises, zuverlässiges und empfindliches Maß für individuelle Unterschiede angesehen (Jensen, 2004).

Spezifische Messungen der Geschwindigkeit beziehen sich auf kognitive oder Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit, einfache oder komplexe Aspekte neuronaler Geschwindigkeit. Den Messwerten zufolge lässt eine langsamere Geschwindigkeit, sei sie kognitiver oder neuronaler Natur, einen niedrigeren IQ-Wert voraussagen. Verschiedene Studien zeigten dementsprechend, dass höhere Intelligenz mit schnellerer simpler (Thoma et al., 2006) oder komplexer RT (Rypma et al., 2006), Entscheidungs- und Bewegungszeit (Jensen, 1987) oder Inspektionszeit (Mackintosh & Bennett, 2002) assoziiert ist.

Die bekanntesten Methoden stammen von Jensen & Munro (1979) und Nettelbeck & Lally (1976). Man entdeckte, dass die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung eine bescheidene, aber durchaus wesentliche Beziehung zur Intelligenz aufwies. Jensen & Munro entwickelten ihr durchdachtes Choice-RT-Paradigma („Auswahl-RT“, CRT), wobei sie die Entscheidungs- (engl.: decision time, DT) von der Bewegungszeit (engl.: movement time, MT) trennten. Nettelbeck & Lally erarbeiteten hingegen unter Verwendung einer Diskriminierungsaufgabe ein neues Maß, die Inspektionszeit (engl.: perceptual inspection time, IT). IT bezieht sich auf die Darstellungsdauer, die man benötigt, um zuverlässig einen konkreten Stimulus zu identifizieren.

Obwohl diese Methoden auch heftige Kritik auslösten (unter anderen durch Longstreth (1984) und Smith (1989)), wurden sie vielfach, manchmal auch in veränderter Weise, repliziert (DT: Reed & Jensen, 1993; Bates & Eysenck, 1993; Bates & Stough, 1998; Der & Deary, 2003; IT: Larson et al., 1988; Bates & Eysenck, 1993; Egan, 1994; Osmon & Jackson, 2002; Mackintosh & Bennett, 2002; Schweizer & Koch, 2003; O'Connor & Burns, 2003; Luciano et al., 2004).

Noch präziser gelingt die Eliminierung der MT mit ERP-Messungen (engl.: event-related potentials, ereigniskorrelierte Potentiale) (McGarry-Roberts et al., 1992; Houlihan et al., 1998; Walhovd et al., 2004; Beauchamp & Stelmack, 2006), wobei Latenzzeiten, welche den stärksten Bezug zur Intelligenz aufweisen, als ein Maß der Verarbeitungs-



geschwindigkeit ermittelt wurden (Walhovd et al., 2004). Z.B. konnte die Latenzzeit der P300-Komponente als ein Index der Zeit, die zur Stimulusevaluation und -klassifikation benötigt wird, verwendet werden, wobei sie von der Antwortwahl und dem Ausführungsprozess unabhängig ist (Houlihan et al., 1998).

Noch besser als mit dem EEG kann man mittels MEG (Magnet-Enzephalo-Graphie) den Herd aktivierter Hirnregionen bestimmen, da diese eine einzigartige Möglichkeit bietet, Verarbeitungsstufen nicht nur bezüglich zeitlicher, sondern auch räumlicher Charakteristika zu ermitteln und deren Verhältnis zum IQ zu untersuchen (Thoma et al., 2006).

Ziele der heutigen RT-Forschung beziehen sich auf verschiedene Bereiche. Sie betreffen beispielsweise die Güte der Messungen: Wie stehen die unterschiedlichen Geschwindigkeitselemente zueinander und welche weist die größte Korrelation mit der Intelligenz auf (Jensen, 1987; Mohamed et al., 2003; Rypma et al., 2006)? Man ist außerdem auf der Suche nach Möglichkeiten, wie sich die Stärke der Korrelation zwischen IQ und RT steigern lässt (Rypma et al., 2006).

Auch wenn die Ergebnisse vielfach repliziert wurden, ist die genaue Beziehung zwischen Geschwindigkeit und IQ oft noch unklar. Ein besonderes und noch ungeklärtes Thema betrifft die Richtung der Kausalität mit der Frage, ob eine schnellere Geschwindigkeit tatsächlich grundlegend für einen höheren IQ oder umgekehrt das Resultat dessen ist (Luciano et al., 2005).

Andere Nachforschungen beschäftigen sich mit der Frage, ob Intelligenz und RT auf eine gemeinsame genetische Grundlage zurückzuführen sind (Posthuma et al., 2002; Luciano et al., 2004; Luciano et al., 2005; Thoma et al., 2006) und wie stark dann die Relation ist. Obwohl man demonstrieren konnte, dass ein gemeinsames genetisches Substrat besteht, bleibt der Zusammenhang noch immer schlecht verständlich.

## 2.2 Die „Biologische Bewegung“

Wir leben in einer visuell dynamischen Welt. Davon ist eines der meist hervorstechenden, biologischen Ereignisse die menschliche Bewegung. Interessanterweise besitzen wir Menschen die außergewöhnliche Begabung, Bewegungen und Aktivitäten anderer Personen zu erkennen, auch wenn diese nur durch die „Johansson-like“-Figur präsentiert werden.

Johansson untersuchte 1973 die visuelle Wahrnehmung von charakteristischen Bewegungsmustern, wie sie von Menschen oder Tieren ausgeführt werden, mittels Point-Light-Figuren. Er konnte zeigen, dass allein 12 schwingende Punkte, die den Kopf und die Hauptgelenke repräsentieren, ausreichen, um dem Beobachter einen laufenden, rennenden oder tanzenden Menschen erkennen zu lassen (s. Abb. 3 & 4). Diese charakteristische Art der Fortbewegung von Lebewesen bezeichnete Johansson als „biologische Bewegung“.

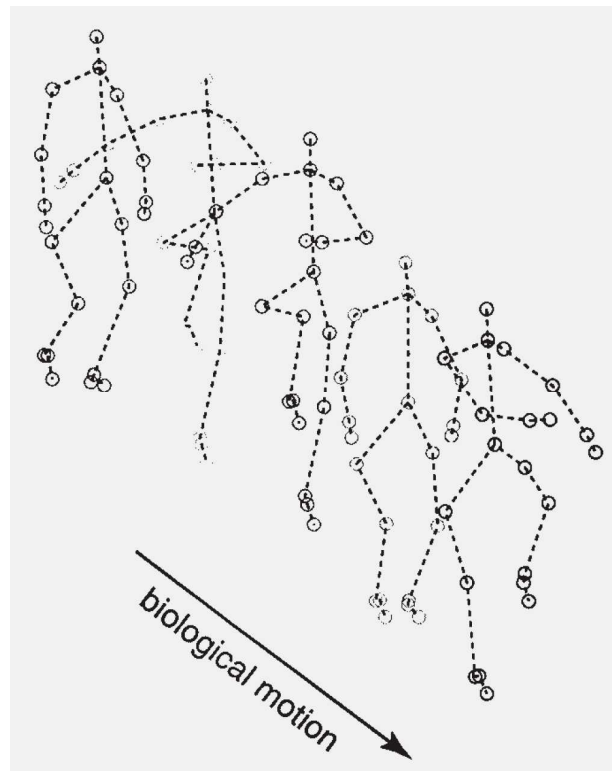


Abb. 3: Beispiel (hier inklusive Verbindungsstrichen) für biologische Bewegung, aus Servos et al. (2002)



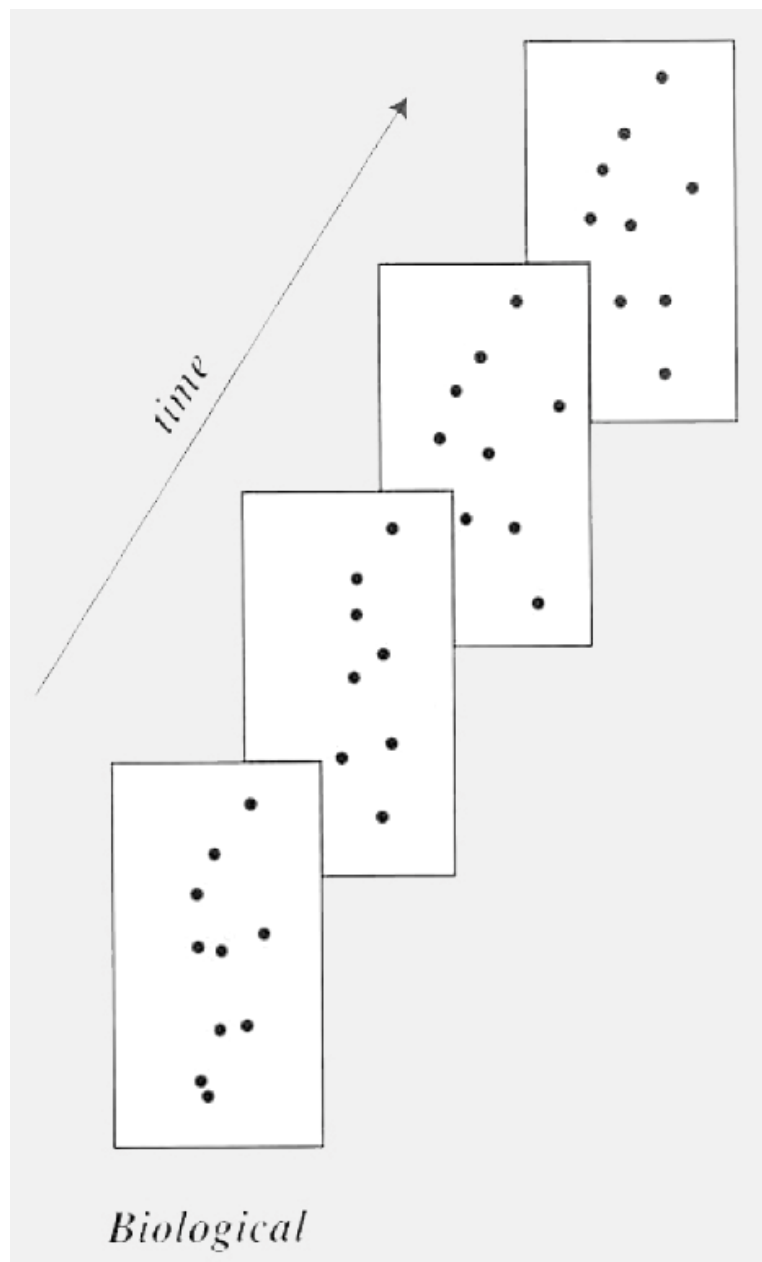


Abb. 4: Beispiel für biologische Bewegung, aus Grossman & Blake (2001)

-Einleitung-

Die Verwendung von Point-Light-Figuren kann zumindest auf den französischen Physiologen und Erfinder Étienne-Jules Marey (1830-1904) zurückgeführt werden, der diese für die Chronophotographie einsetzte (s. Abb. 5).

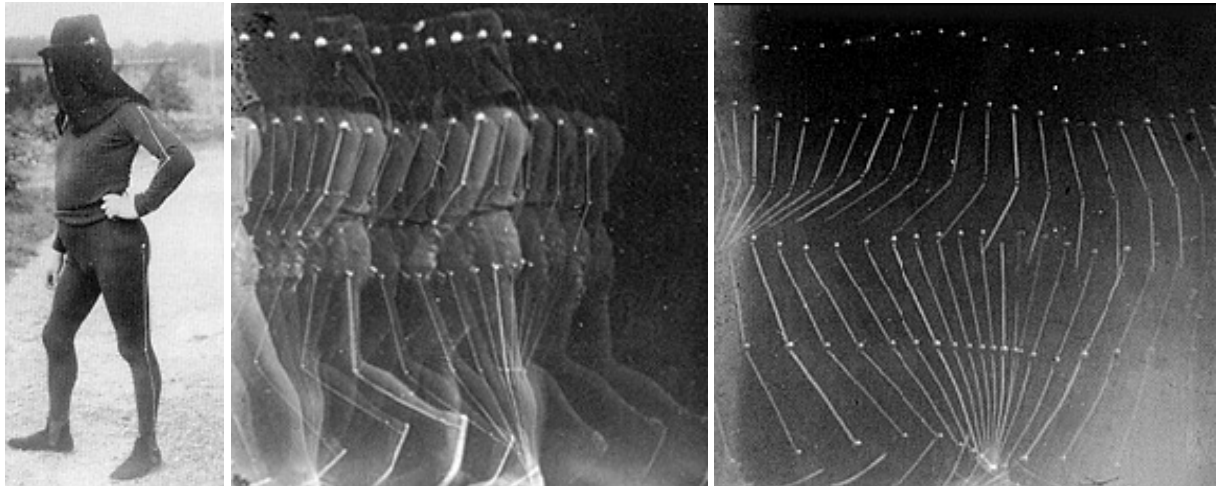


Abb. 5 (von links nach rechts): Mareys Anzug zur Bewegungserfassung; Überbelichtete Aufnahme, bei der sich das Modell und die Marker darstellen; „Korrekt“ belichtete Aufnahme, welche nur die Marker zeigt, aus [http://www.acmi.net.au/AIC/MAREY\\_BIO.html](http://www.acmi.net.au/AIC/MAREY_BIO.html)

Jedes statische Bild sieht wie eine bedeutungslose Streuung von Punkten aus (s. als Beispiel Abb. 7 & 8, S. 32). Ebenso gibt eine willkürliche Bewegung der Punktwolke keinen Hinweis auf eine bekannte biologische Bewegung.

Forscher zeigten, dass bei solchen Figuren zuverlässig Unterscheidungen gemacht werden können, z.B. zwischen dem Gang bzw. der Bewegung einer Frau und eines Mannes (Troje, 2002; Pollick et al., 2002), eines Bekannten und eines Fremden (Cutting & Kozlowski, 1977) oder dem Stil des Gangs, wie rennen oder gehen (Todd, 1983). Andere untersuchten, ob Emotionen (Pollick et al., 2002) oder komplexe Aktivitäten wie der Aufschlag beim Tennis (Pollick et al., 2001) erkennbar sind. Es konnte gezeigt werden, dass selbst sechs Monate alte Säuglinge auf biologische Bewegungsmuster reagierten (Fox & McDaniel, 1982).

Die Wahrnehmung einer biologischen Bewegung bleibt selbst bei Variation der Anzahl der Punkte oder der Dauer der Darstellung stabil (Neri et al., 1998). Allerdings ist die Erkennung bei Umkehrung der Figur, sodass sie auf dem Kopf steht, deutlich herabgesetzt (Grossman & Blake, 2001; Troje & Westhoff, 2006).

Mit der Annahme, dass das Erkennen von biologischer Bewegung einem spezifischen neuronalem Netzwerk zugrunde liegt, versuchten einige Forscher mittels fMRT- und PET-Messungen die Hirnregionen zu identifizieren, die einzig beim Erkennen einer „Johansson-like“-Figur aktiviert werden (Bonda et al., 1996; Grossman et al., 2000; Grezes et al., 2001; Vaina et al., 2001; Servos et al., 2002). Abgesehen vom superioren Temporalsulcus waren sie sich in den restlichen Hirnregionen jedoch uneinig. Als entscheidend für das Erkennen einer biologischen Bewegung wurden unter anderem ein Teil des angrenzenden Temporalkortex (Bonda et al., 1996; Vaina et al., 2001) oder des intraparietalen Kortex (Grezes et al., 2001), Regionen des lingualen oder fusiformen Gyrus (Vaina et al., 2001; Servos et al., 2002), limbische Strukturen wie die Amygdala (Bonda et al., 1996) und eine kleine Region des medialen Cerebellums (Grossman et al., 2000; Vaina et al., 2001) gesehen. Die Abbildung 6 stellt ein Beispiel für die Aktivierungen im Gehirn dar, wie sie beim Beobachten einer solchen Punktwolke auftreten können. Die Abbildung entstand aus den Probanden der vorliegenden Arbeit und zeigt verstreute Aktivierungen im Frontallappen, superioren Parietallappen und stark betont temporal im BA 37/19.

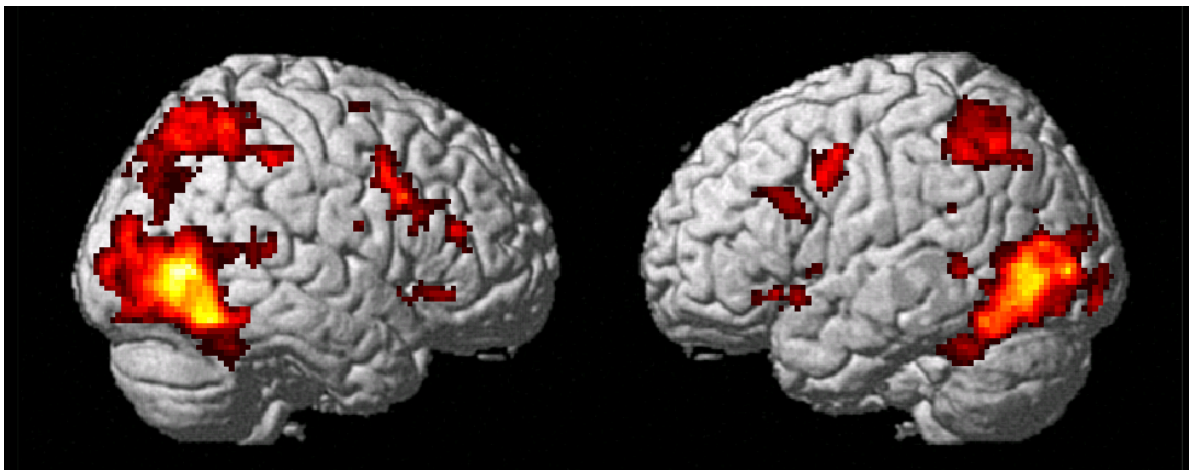


Abb. 6: Beispiel für Hirnaktivierungen bei der Perzeption einer biologischen Bewegung

Die „Johansson-like“ Figur wurde noch für eine Vielzahl weiterer Nachforschungen genutzt (Grossman & Blake, 2001; Troje, 2002; Blake et al., 2003; Shipley, 2003; Casile & Giese, 2005; Hirai & Hiraki, 2006), um dieses einzigartige Phänomen und ihre Zusammenhänge zu ergründen.

Natürlich bedeutet die Information einer Bewegung für uns mehr als nur die Identifizierung einer Bewegung. Menschen sind fähig, eine schwache kohärente Bewegung mitten unter einem Hintergrund von zusammenhangslosen Bewegungen zu entdecken (Barlow & Tripathy, 1997), die Richtung der bewegenden Objekte zu bestimmen (Troje & Westhoff, 2006) und verschiedene Geschwindigkeiten zu unterscheiden (Chen et al., 1998). Außerdem bietet eine Bewegung eine starke Bezugsquelle, um die 3-dimensionale Form von Objekten zu beschreiben (Tittli & Perotti, 1997).

Was die biologische Bewegung angeht, spielt diese hier eine ganz besondere Rolle. Als soziale Wesen sind Menschen von der Fähigkeit die Aktionen anderer zu identifizieren, zu interpretieren und vorherzusagen abhängig. Das ständige gegenseitige Beobachten erlaubt die Anpassung und Eingliederung in ihre soziale Umgebung. Puce & Perrett (2003) beschreiben dies anhand einiger Beispiele sehr gut: „Die Fähigkeit die Bewegung und Aktion anderer Menschen zu interpretieren, überschreitet fundamentales Überleben und erfolgreiches Interagieren mit wichtigen Artgenossen. Viele unserer Freizeit- und kulturellen Beschäftigungen wären ohne diese Befähigung nicht möglich. Ausgezeichnete Symphonieorchester bestehen nicht nur wegen ihrer außergewöhnlichen Musiker, sondern auch aufgrund ihrer Fähigkeit die nonverbalen Anweisungen des Dirigenten zu interpretieren. Dirigenten übermitteln eindeutig nicht nur die technische Art und Weise, mit welcher das Orchester das Musikstück ausführen soll, sondern passen die Stimmung und die emotionale Klangfarbe der Musik Takt für Takt an. Die Spielfilmindustrie verdankt einen Großteil ihres heutigen Erfolges ihren bahnbrechenden Stummfilmen, welche mit ihren nonverbalen Possen für Unterhaltung sorgen konnten. Die Eliteathleten dieser Welt sind auf die Interpretation der Bewegungen anderer angewiesen, um die Tore ihrer Mannschaft erfolgreich zu erzielen und die Pläne ihrer Gegner zu durchkreuzen.“

### **2.3    *Ziele der Arbeit***

Die meisten Studien, die sich mit Intelligenz beschäftigen, sind bemüht dem neuronalen Korrelat auf den Grund zu gehen. Gleiches gilt für die Untersuchungen der biologischen Bewegung. Bisher ist jedoch die neuronale Aktivität des menschlichen Gehirns während der Wahrnehmungsverarbeitung einer gehenden Person in Zusammenhang mit der Intelligenz noch nicht erforscht worden.

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit mehreren Fragestellungen. Zunächst wird untersucht, ob das Erkennen der biologischen Bewegung als eine RT-Aufgabe ein Ergebnis liefert, welches einen RT-Unterschied abhängig vom Intelligenzquotienten aufweist. Anschließend wird erforscht, ob und wie sich die mittels funktioneller Magnetresonanztomographie gemessenen kortikalen Aktivitätsmuster beim Beobachten der schwingenden Punktwolke zwischen Personen mit verschiedenen hohen verbalen und Handlungs-IQ-Werten unterscheiden.

### **3 Material und Methode**

#### **3.1 Versuchspersonen**

Für die vorliegende Arbeit wurde der Datensatz von 26 jungen Rechtshändern (13 Frauen und 13 Männer) verwendet, welche für eine andere Studie als Kontrollpersonen ausgewählt worden waren (Freitag et al., 2008). Das Durchschnittsalter unter den Frauen betrug  $18,5 \pm 1,0$  Jahre, unter den Männern  $18,7 \pm 1,2$  Jahre. Nach einer vollständigen Beschreibung der Studie wurde eine Einverständniserklärung aller Teilnehmer oder von ihren Eltern, falls sie jünger als 18 Jahre waren, eingeholt. Der Studienaufbau wurde von der lokalen Ethikkommission genehmigt.

Die Intelligenz wurde mit der deutschen Version der WAIS-III (entsprechend den Normen vom Jahr 2000) gemessen. Die Händigkeit wurde durch das Edinburgh Handedness Inventory ermittelt, bei welchem die Versuchspersonen selber Auskunft gaben. Alle Probanden waren zum Zeitpunkt der Messungen gesund, hatten eine korrigiertes oder normales Sehvermögen und erhielten keine Behandlung mit Psychopharmaka.

### **3.2 Stimuli**

In der fMRT-Studie wurde den Probanden ein Stimulus von komplexer biologischer Bewegung präsentiert, um die Wahrnehmung einer solchen Bewegung zu beurteilen.

Als Gegenstand der Untersuchung benutzte man sogenannte „Point-Light Displays“ (PLDs), wobei die zu Grunde liegende Person nur durch einige wenige Lichtpunkte an den Hauptgelenken des Körpers dargestellt wurde. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, handelt es sich hierbei um die „Johansson-like“-Figur (Johansson, 1973). Die Stimuli wurden den Probanden über eine Farbvideoprojektion auf einen transparenten Schirm präsentiert, welcher über ein Spiegelsystem (Siemens AG) auf der Kopfspule befestigt war.

Die biologische Bedingung, gezeigt in Abbildung 7 & 8 als statische Punktemuster, wurde durch bewegte PLDs von 15 männlichen und 15 weiblichen Walkern ohne Konturen dargestellt. „Walker“ bedeutet auf Englisch Fußgänger bzw. Spaziergänger und beschreibt am besten die simulierte Art der biologischen Bewegung. Daher wird dieser Begriff in der weiteren Arbeit häufiger benutzt.

Die Stimuli basierten auf Bewegungsdaten, erfasst von Prof. Nikolaus Troje, Queen's University, Kanada. Ursprünglich waren 38 Markierungen auf der Haut der Teilnehmer angebracht worden. Diese wurden dann genutzt, um die 3-dimensionalen Bewegungsbahnen, sogenannte Trajektorien, von 15 virtuellen Markern zu generieren, welche an den Hauptgelenken des Körpers fixiert waren. Eine detaillierte Beschreibung dieser Arbeitsschritte kann in der Studie von Troje (2002) gefunden werden. Im Internet unter <http://www.biomotionlab.ca> ist es möglich, mehr Informationen und bewegte Demonstrationen aus dem „BioMotionLab“, 1999 von Troje gegründet, zu erhalten.

Die 15 Markierungen wurden dann als weiße Punkte auf schwarzem Hintergrund projiziert, wobei diese mit unterschiedlichen Gehgeschwindigkeiten und aus wechselnden Blickwinkeln von -90 Grad (Ansicht des linken Profils) bis +90 Grad (Ansicht des rechten Profils) zufällig gestreut präsentiert wurden.

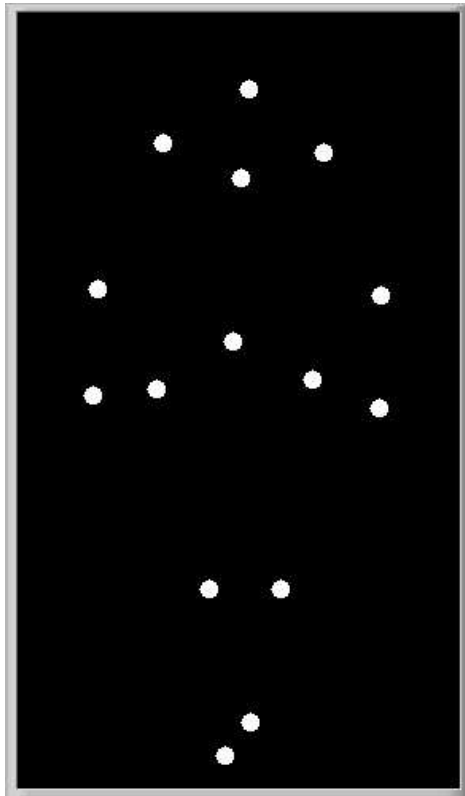


Abb. 7: Walker frontal

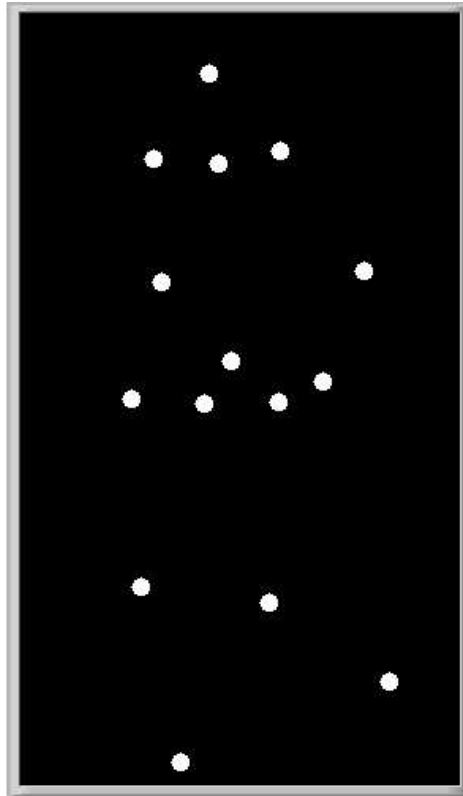


Abb. 8: Walker seitlich

Die Stimuli für die Kontrollbedingung wurden von diesen Walkern abgeleitet. Zuerst wurden die Positionen der 15 einzelnen Trajektorien vertauscht, während die Form jeder Kurve noch intakt blieb. Als nächstes wurde das Geschwindigkeitsprofil entlang jeder Trajektorie mit einer konstanten Geschwindigkeit ersetzt, welche aus der Durchschnittsgeschwindigkeit eines Zyklus hergeleitet wurde. Diese Manipulation behält zwar die Gesamtfrequenz jedes einzelnen Punktes bei, verbirgt jedoch das typische Beschleunigungsprofil, welches für eine biologische Bewegung bezeichnend ist (Troje & Westhoff, 2006). Schließlich wurde die Auf- und Abbewegung der gesamten Punktewolke weggerechnet, sodass die Mitte der Wolke immer am gleichen Platz blieb. Dieser Stimulus wird im Folgenden meistens nur als „Scrambled“ bezeichnet, was im Englischen etwas Zusammengerührtes, Verwürfeltes bzw. Durcheinandergebrachtes beschreibt (als Beispiel s. Abb. 9).



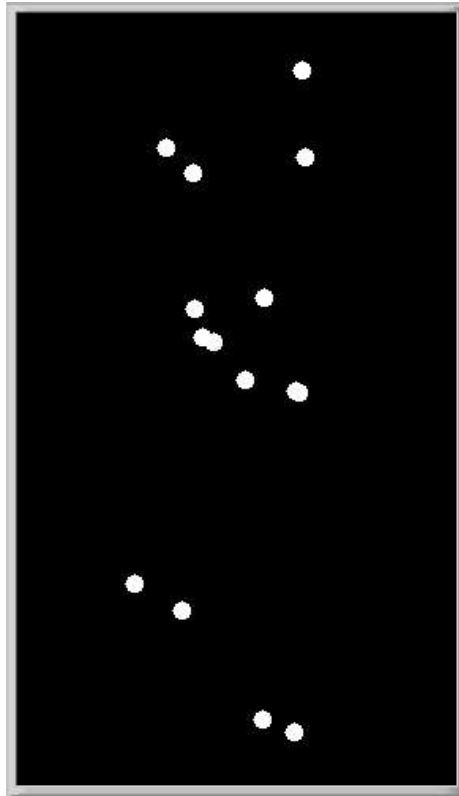


Abb. 9: Scrambled Stimulus

Zunächst wurden die 2 x 30 Stimuli ein Mal je 1,5 Sekunden lang in zufälliger Reihenfolge gezeigt, wobei jedes durch ein variables, 8 bis 20 Sekunden langes Intervall, in welchem ein Fixierungskreuz abgebildet war, vom nächsten getrennt wurde. Die Probanden wurden gebeten, jede Punkteanimation zu einer Figur zusammenzusetzen, um später darüber Bericht zu erstatten.

### **3.3 RT-Experiment**

Den fMRT-Messungen folgend wurden die 26 Probanden einem PC-gestützten RT-Test mit analogen Stimuli unterzogen. Die Teilnehmer wurden aufgefordert, unterschiedliche Tasten auf einem Keyboard zu drücken, je nachdem ob eine kohärente gehende Person oder eine durcheinandergebrachte Version gezeigt wurde. Die Stimuli wurden in derselben Auflösung und Dauer wie zuvor während des fMRT-Experiments präsentiert, es wurden jedoch andere Datensätze von Point-Light-Figuren benutzt. Die Zeitintervalle zwischen den Abbildungen waren konstant. Sowohl die 40 weiblichen und 40 männlichen Walker als auch ihre entsprechenden veränderten 80 Scrambled wurden 1,5 Sekunden lang präsentiert und mit 2,5 Sekunden andauernden Intervallen voneinander getrennt.

### **3.4 fMRT-Experiment**

In dem fMRT-Experiment wurden die Teilnehmer gebeten auf bewegte Punktwolken zu achten, die entweder einen gehenden Menschen oder eine arbiträre Wolke formten. Eine Entscheidung oder Reaktion wurde nicht gefordert. Anschließend wurden die Hirnareale, welche beim Sehen des Walkers aktiviert wurden, in Beziehung zum erfolgten Intelligenztest gesetzt. Eine der 26 Messungen musste aufgrund von Geräteartefakten ausgeschlossen werden.

Zur detaillierten Beschreibung der Datenerfassung und der statistischen Analyse der funktionellen fMRT-Daten ist auf die Studie von Freitag et al. (2008) zu verweisen, aus welcher die Daten dieser Studie mit Genehmigung stammen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Verteilung der IQ-Ergebnisse innerhalb des Kollektivs

Zunächst wurde der Hamburger-Wechsler IQ-Test für Erwachsene durchgeführt, der einen Verbalteil und einen Handlungsteil unterscheidet. Die deskriptiven Daten des Kollektivs werden in Tab. 1 dargestellt. Es bestand kein signifikanter Unterschied im IQ ( $p=0,80$ ), hIQ (Handlungs-IQ,  $p=0,14$ ) bzw. vIQ (verbaler IQ,  $p=0,61$ ) zwischen den 13 weiblichen (Alter  $18,5 \pm 1,0$  Jahre; IQ  $116,9 \pm 8,2$ ; hIQ  $116,2 \pm 8,8$ ) und 13 männlichen (Alter  $18,7 \pm 1,2$  Jahre; IQ  $113,5 \pm 18,9$ ; hIQ  $107,5 \pm 19,1$ ) Probanden bei  $p < 0,1$  (siehe Mann-Whitney-U-Test in Tab. 2).

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
IQ	26	63,00	136,00	115,2308	14,35913
Handlungs-IQ	26	63,00	139,00	111,8846	15,23766
Gültige Werte (Listenweise)	26				

Tab. 1: Deskriptive Statistik der IQ-Werte

	IQ	Handlungs-IQ	Verbaler IQ
Mann-Whitney-U	79,500	55,000	74,500
Wilcoxon-W	170,500	146,000	165,500
Z	-,257	-1,515	-,514
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,797	,130	,607
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,801 <sup>a</sup>	,139 <sup>a</sup>	,614 <sup>a</sup>

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

Tab. 2: Werte der Teststatistiken und p-Werte des Mann-Whitney/Wilcoxon-Tests für IQ, Handlungs-IQ und verbalen IQ

## -Ergebnisse-

Zwischen vIQ und Gesamt-IQ gab es keinen Unterschied innerhalb des Gesamtkollektivs. Der hIQ zeigte dagegen einen Trend zu einer Abweichung zum Gesamt-IQ (s.Tab. 3). Da beim RT-Experiment die sprachliche Kompetenz der Probanden keine erklärbare Rolle spielen dürfte, wurde nur der hIQ für die weitere Kalkulation herangezogen, um keine Einfaltung irrelevanter Parameter in Kauf zu nehmen.

	Handlungs-IQ - IQ	Verbaler IQ - IQ
Z	-1,820 <sup>a</sup>	-,364 <sup>a</sup>
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,069	,716

a. Basiert auf positiven Rängen.

Tab. 3: Werte der Teststatistiken und p-Werte des Mann-Whitney/  
Wilcoxon-Tests für den Vergleich von IQ und Handlungs-IQ bzw. verbalem IQ

### 4.2 Diskriminierbarkeit der Punktemuster

Nach den fMRT-Messungen mit den präsentierten 2 x 30 Stimuli berichteten die Probanden einwandfrei, dass stets der Walker aus der Punktwolke zu erkennen war. Somit konnten alle Probanden an den anschließenden Experimenten teilnehmen, die mit anderen Datensätzen von Figuren durchgeführt wurden.

### 4.3 Ergebnisse des RT-Experiments

Der hIQ wies eine signifikante negative Korrelation (Spearman-Rho-Test in Tab. 4) zur Reaktionsgeschwindigkeit beim Auftreten des Walkers auf ( $p < 0,05$ ). Im Gegensatz dazu zeigte sich keine Korrelation zwischen RT und dem vIQ ( $p > 0,3$ ). Die Korrelation des Gesamt-IQ zur Reaktionsgeschwindigkeit ergab daher nur eine Tendenz. Die Abbildung 10 veranschaulicht das Ergebnis.

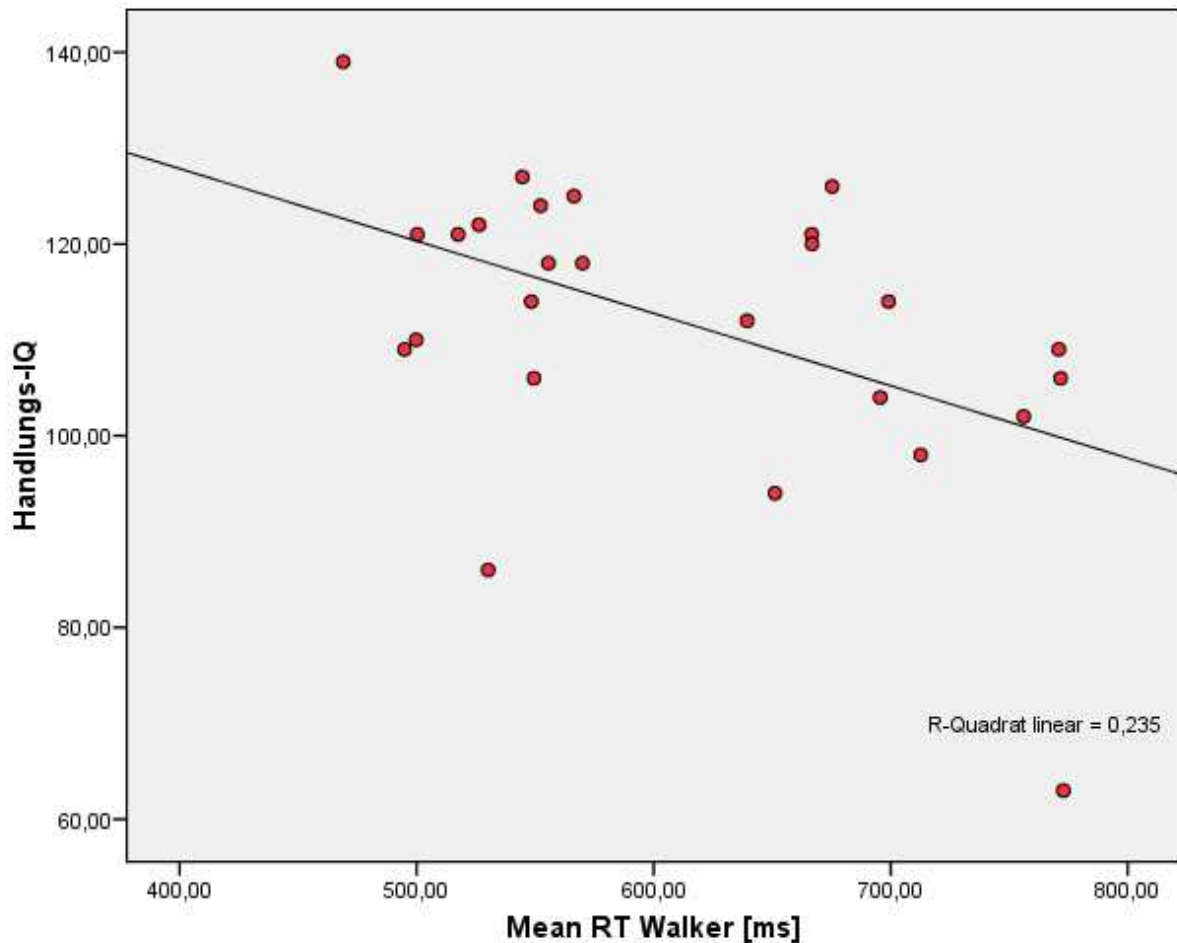


Abb. 10: Korrelation zwischen hIQ und RT

-Ergebnisse-

			Mean RT Walker	Mean RT Scram.
Spearman-Rho	Handlungs-IQ	Korrelationskoeffizient	-,444	-,380
		Sig. (2-seitig)	,023	0,56
		N	26	26
	Verbaler IQ	Korrelationskoeffizient	-,174	-,216
		Sig. (2-seitig)	,394	,289
		N	26	26

Tab. 4: Werte des Spearman'schen Korrelationskoeffizienten zwischen Handlungs- und verbalem IQ einerseits und *Mean RT Walker* und *Mean RT Scrambled* andererseits

Im Vergleich zu dem Erkennen des Walkers dauert die Reaktion auf den Scrambled knapp 200 ms länger ( $p < 0,0005$ ) (siehe Tab. 5 und 6, sowie Abb. 11). Außerdem zeigt sich in der Korrelation zwischen hIQ und RT beim Scrambled-Stimulus nur eine Tendenz (siehe Tab. 4).

	N	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Mean RT Walker	28	469,00	772,90	611,3393	94,53956
Mean RT Scram.	28	372,00	1353,00	802,2679	258,78679
Gültige Werte (Listenweise)	28				

Tab. 5: Deskriptive Statistik der RT-Werte

	Mean RT Scram. - Mean RT Walker
Z	-3,619 <sup>a</sup>
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000296

a. Basiert auf negativen Rängen.

Tab. 6: Wert der Teststatistik und p-Wert des Mann-Whitney/Wilcoxon-Tests für den Vergleich von *Mean RT Walker* und *Mean RT Scrambled*

-Ergebnisse-

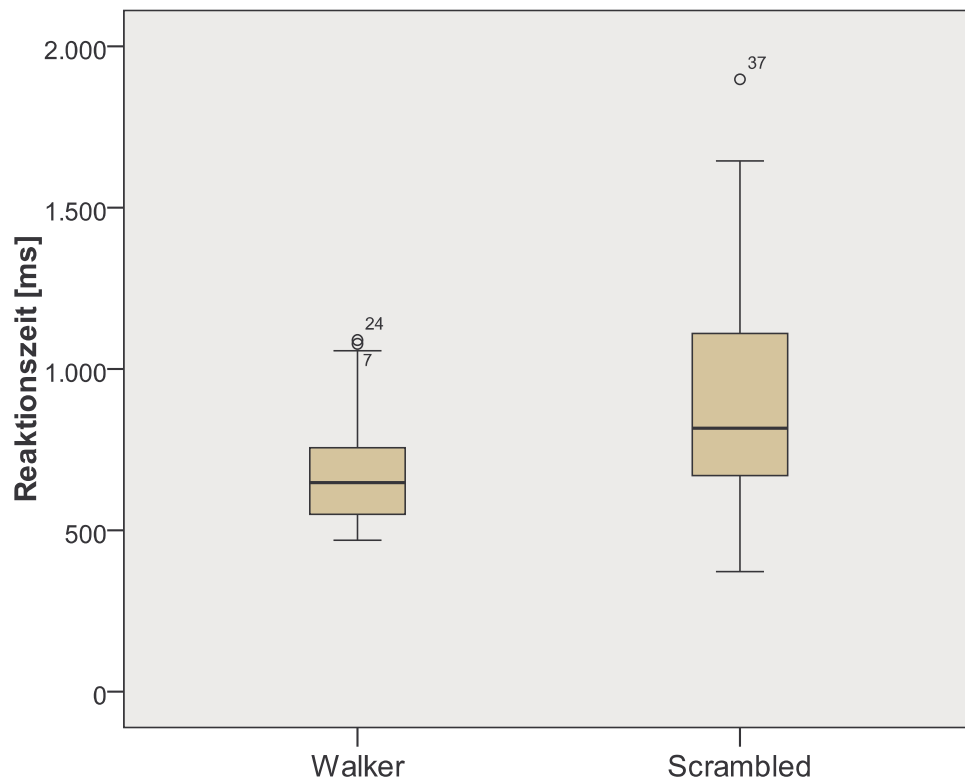


Abb. 11: RTs bei Wahrnehmung des Walkers im Vergleich mit dem Erkennen des Scrambled

#### 4.4 Ergebnisse des fMRT-Experiments

Besonders dominierend beim hIQ sind BA 9 rechts im präfrontalen Kortex und BA 37 beidseits im inferioren Temporallappen mit Übergang zum Assoziationsareal BA 37/19 (s. Abb. 12). Zu erkennen sind auch weniger starke Aktivierungen, unter anderem im inferioren Parietallappen, im BA 40 rechts.

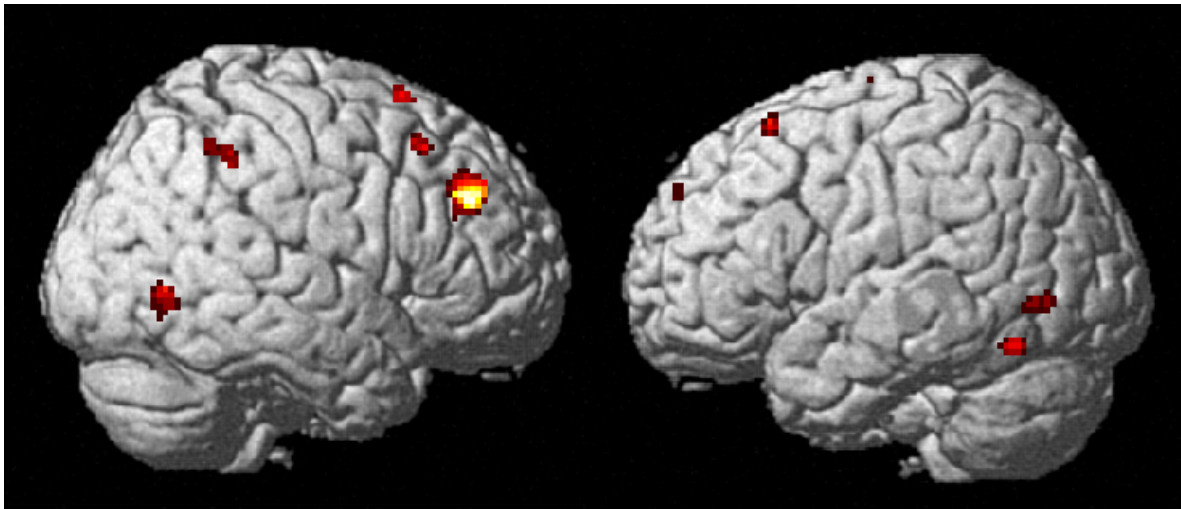


Abb. 12: Korrelation zwischen Hirnaktivität und hIQ  
im rechten präfrontalen Kortex (BA 9), parietal rechts (BA 40) und im inferioren Temporallappen (BA 37 bzw. BA 37/19) beidseits beim Beobachten der Punktemuster (Ansicht von rechts und links)

Die Korrelationen zwischen der Hirnaktivität und dem vIQ stellt ein buntes Bild dar. Sie zeigt jedoch auch Maxima: Hervorstechend sind präfrontal beide BA 10, parietal BA 40 rechts und BA 7 beidseits und das BA 22 linksseitig im superioren temporalem Gyrus (s. Abb. 13 und 14). Weniger deutlich kommen Aktivierungen in den Frontallappen bei BA 9 vor, im temporo-okzipitalem Assoziationskortex links im BA 19 und im anterioren Gyrus cinguli rechts, in den BA 32 und 24.



-Ergebnisse-

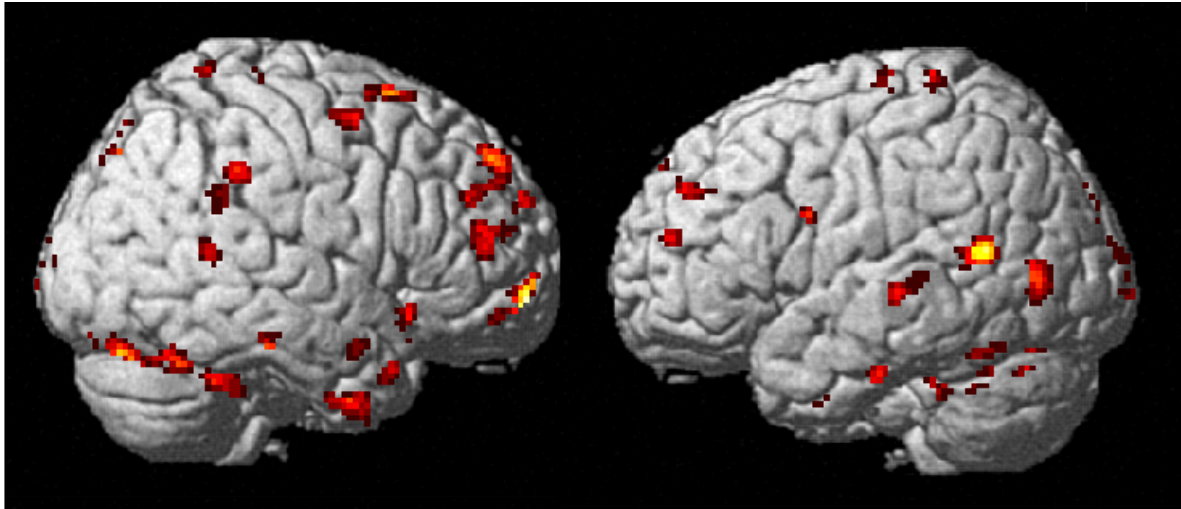


Abb. 13: Korrelation zwischen Hirnaktivität und VIQ in den präfrontalen Arealen (BA 9 und 10), parietal rechts (BA 40) und temporo-okzipital links (BA 22 und 19) beim Beobachten der Punktemuster (Ansicht von rechts und links).

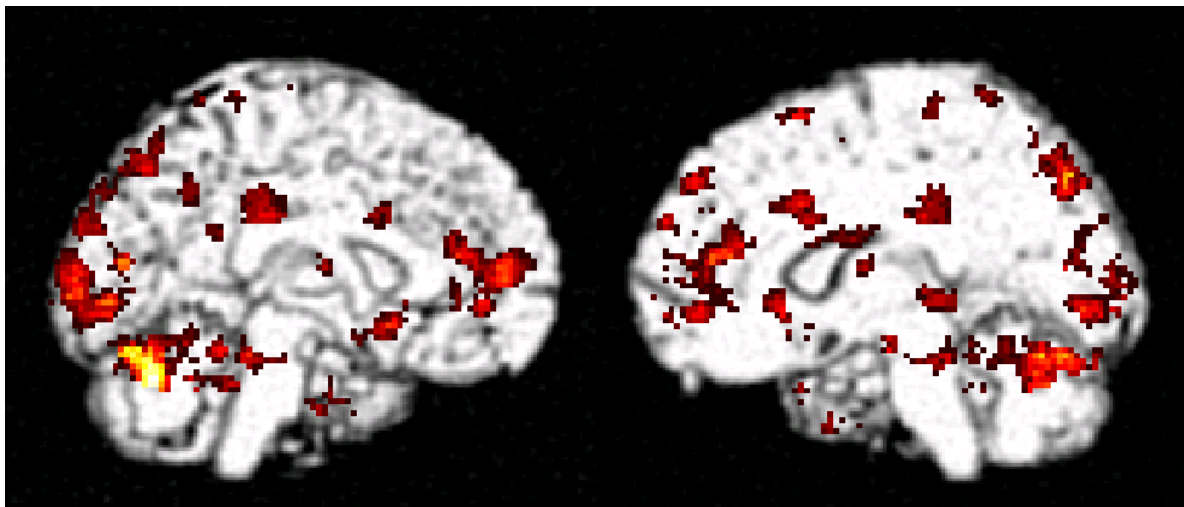


Abb. 14: Korrelation zwischen Hirnaktivität und VIQ im linken Frontallappen (BA 10), im rechten anterioren Gyrus cinguli (BA 32 und 24) und in beiden Parietallappen (BA 7) beim Beobachten der Punktemuster (Ansicht von innen).

-Ergebnisse-

In der Antikorrelation zeigen sich ebenfalls Aktivitäten: Das Maximum des vIQ liegt in der linken Hemisphäre bei BA 44/45 im Gyrus frontalis inferior und etwas schwächer im orbitofrontalen Kortex bei BA 11 (s. Abb. 15).

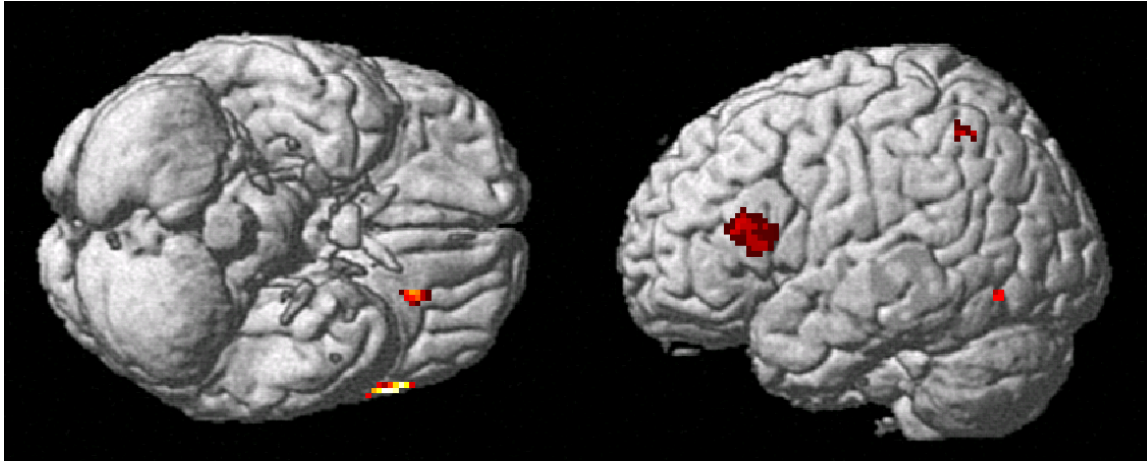


Abb. 15: Antikorrelation zwischen Hirnaktivität und vIQ, hervorstechend im linken Frontallappen (BA 44/45) und schwächer bei BA 11 beim Beobachten der Punktemuster (Ansicht von unten und links).

Weniger markante Aktivierungen treten bei der Antikorrelation mit dem hIQ auf: Rechts erkennt man Aktivierungen im Gyrus präcentralis (BA 4) und frontal im BA 11 links (s. Abb. 16).

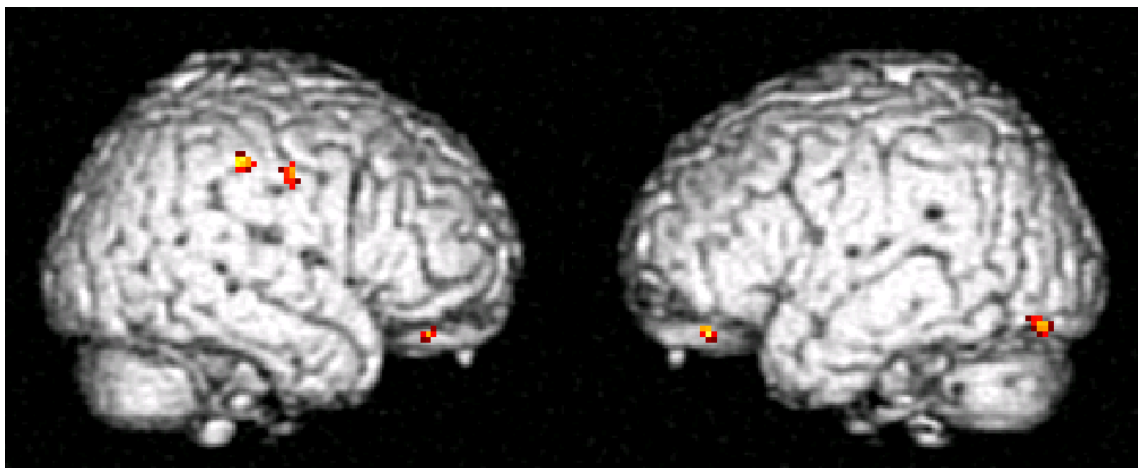


Abb. 16: Antikorrelation zwischen Hirnaktivität und hIQ, rechts im BA 4 und links im BA 11 beim Beobachten der Punktemuster (Ansicht von rechts und links)

## 5 Diskussion

### 5.1 Diskussion der IQ-Ergebnisse

Die IQ-Ergebnisse dieses Kollektivs weisen nicht die übliche Standardnormalverteilung nach Gauss auf, welche um einen Mittelwert von 100 streut und eine Standardabweichung von 15 hat. Der Mittelwert liegt hier deutlich höher bei 115,2 für den Gesamt-IQ (s. Abb. 17) bzw. 111,9 für den hIQ.

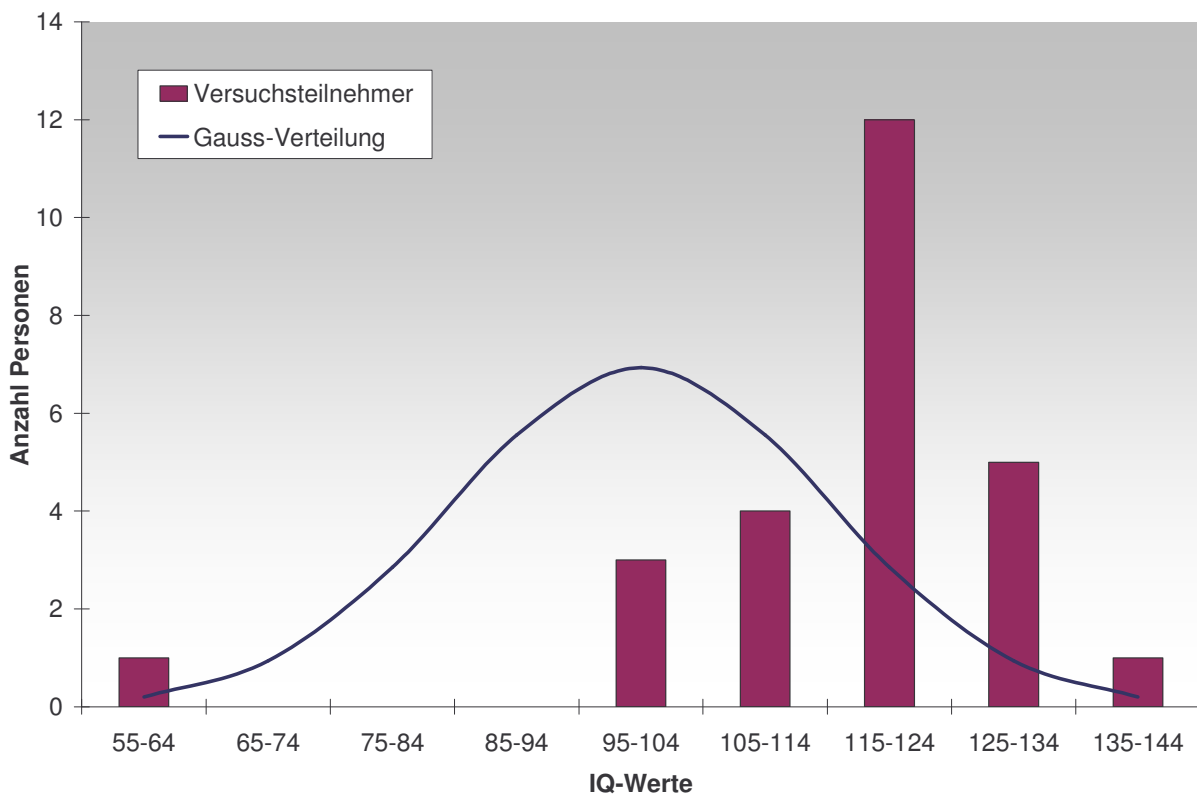


Abb. 17: Vergleich der IQ-Werte bei Normalverteilung und bei den Teilnehmern dieser Arbeit

Für die folgenden Messungen der vorliegenden Arbeit war jedoch die Gauss'sche Verteilung keine Voraussetzung. Nötig war nur eine ausgewogene Verteilung per se, welche somit erfüllt ist.

Für den Schlussteil der Diskussion ist es jedoch von Interesse, mögliche Ursachen einer solchen Verschiebung in einen höheren IQ-Bereich zu beleuchten.

Zunächst besteht die Möglichkeit, dass dies auf dem sogenannten „Flynn-Effekt“ beruht. Der neuseeländische Politologe J.R. Flynn hatte 1987 wissenschaftliches Aufsehen erregt, als er als Ergebnis eines internationalen Vergleiches von 14 hochindustrialisierten Nationen „massive IQ-Gewinne“ feststellte und IQ-Tests bezüglich dessen, was sie zu messen vorgaben, in Frage stellte (Sundet et al., 2004).

Der Flynn-Effekt bezeichnet die Tatsache, dass seit dem Beginn der IQ-Messung bis in die 90er-Jahre die Ergebnisse von IQ-Tests im Mittel höhere Werte erbrachten als in den zurückliegenden Jahrzehnten, die gemessene Intelligenz also offenbar zunahm. Wenn man die Werte von Intelligenztests mit dem Durchschnitt einer Vergleichsgruppe einer oder mehrerer Generationen früher vergleicht, so lässt sich ein durchschnittliches Wachstum z.B. des Wechsler-IQs in einem Jahrzehnt von 3 Punkten feststellen. Flynn konnte Daten finden, um die Entwicklung während eines ganzen Jahrhunderts zu verfolgen. Wer vor 100 Jahren, so Flynn, zu den besten 10 Prozent gehört habe, würde jetzt zu den schwächsten und "dümsten" 5 Prozent gerechnet werden. Daher wurden von Zeit zu Zeit die IQ-Tests überarbeitet und „restandardisiert“, wobei unter anderem der Mittelwert auf 100 zurückgesetzt wurde (Nettelbeck & Wilson, 2004).

Seit jener Beobachtung gibt es umfangreiche Erörterungen bezüglich der Natur, den Ursachen und den Folgen des Anstiegs. Da sich diese Zunahme erstaunlich schnell entwickelt hat, kann man davon ausgehen, dass sie nicht auf genetischen Veränderungen beruht, sondern auf Umwelteinflüssen. Dies bleibt jedoch eine kontroverse Angelegenheit aufgrund des Nachweises, dass IQ-Unterschiede im Wesentlichen durch genetische Variation beeinflusst werden (Toga & Thompson, 2005). Neisser (1998) fasste in einem Buch die Vermutungen und Erklärungsversuche verschiedener Autoren zusammen, von denen einige oder sogar alle zu der signifikanten Verschiebung beigetragen haben könnten. Schooler glaubte, dass die immer komplexere und dynamischere Lebenswelt einen Effekt auf die zunehmende Intelligenz hätte, die Menschen von jung auf zwingt, sich schnell Neuem anzupassen. Greenfield nahm an, dass technologische Veränderungen sich vor allem auf die nonverbalen IQ-Testteile auswirkten. Sie behauptete, dass Kinder, die in zunehmendem Maße visuellen Medien ausgesetzt sind, spezifische Fähigkeiten zur visuellen Analyse

entwickelten, in denen sie normalerweise ihre Eltern übertreffen. Williams fasste eine Reihe von familien- und schulbezogenen Variablen zusammen: Der zunehmende Bildungsabschluss der Eltern und eine bessere und längere Ausbildung der Kinder, die Neigung zu kleineren Familien und daher höhere Aufmerksamkeit auf die Kinder und ihre Bedürfnisse, und die ansteigenden Ressourcen der Familien. Gleich mehrere Autoren wiesen auf die verbesserte Ernährungsweise hin (Sigman & Whaley, Martorell, Lynn). Flynn selbst war der Meinung, dass die Zunahme eher auf den Fähigkeiten beruht, besser und schneller abstrakte Muster zu erkennen, sich räumlich zu orientieren, eine Entscheidungsauswahl zu treffen und abstrakte Probleme zu lösen, als auf eine Zunahme von Intelligenz. Denn bei jenen Testaufgaben, die sich auf "kristallisiertes" Wissen bezogen, konnte keine signifikante Verbesserung des IQ-Wertes festgestellt werden. Die Zunahme scheint sich also nicht um das Gedächtnis, sondern um kognitive Wahrnehmungs- und Handlungsfähigkeiten zu drehen. Möglicherweise "wissen" wir weniger als die Menschen vor 100 Jahren, können uns aber schneller etwas Neues aneignen.

Tatsächlich gibt es Forscher, die versuchten die fluide Intelligenz im Rahmen einer Studie zu erhöhen. Bei den Probanden von Jaeggi et al. (2008) stieg abhängig von der Intensität des Trainings mit kognitiven Aufgaben, die nicht denen aus Intelligenztests glichen, die fluide Intelligenz. Allerdings wurde nicht überprüft, ob der Anstieg beständig war.

Wie beschrieben können demnach verschiedene Umweltstimuli oder ein bestimmtes Training für IQ-Veränderungen verantwortlich sein, entscheidend ist jedoch womöglich eine kontrollierte, konstante Umwelt bzw. das Fortdauern der Intervention innerhalb der Generation (Dickens & Flynn, 2001; Shaw, 2007). Denn ohne solch eine Persistenz könnte es wieder zu einer Abnahme des IQ führen. Dies kommt allerdings nicht nur nach übungsindiziertem IQ-Gewinn vor, sondern anscheinend auch aufgrund von Umweltveränderungen im edukativen und gesellschaftlichen Bereich. Einige Studien weisen nämlich auf ein mögliches Ende oder sogar Umkehrung des Flynn-Effekts hin (Sundet et al., 2004; Teasdale & Owen, 2005). Laut Sundet et al. sei es Ende der 90er-Jahre in Norwegen zu einem Stopp des IQ-Anstiegs gekommen. Teasdale & Owen

(2005) beschreiben eine stetige Abnahme der IQ-Werte in Dänemark bis zum Zeitpunkt ihrer Studie, wobei der Gipfel der IQ-Werte ebenso gegen Ende der 90er-Jahre lag.

Der in dieser Arbeit verwendete IQ-Test, die deutschsprachige WAIS-III, galt zum Zeitpunkt der Datenerhebung als die aktuelle, überarbeitete Version. Zwischen 1999 und 2005 nahmen beinahe 2000 Probanden aus verschiedenen deutschsprachigen Ländern an der Eichung teil (Aster et al., 2006). Da die Daten der vorliegenden Arbeit bereits 2004 erhoben wurden, müsste man einen so stark ausgeprägten IQ-Wertanstieg aufgrund des Zusammenspiels der oben erwähnten Faktoren ausschließen können.

Man könnte auch vermuten, dass der ungewöhnlich hohe Mittelwert aufgrund der Tatsache erreicht wurde, dass an der vorliegenden Studie größtenteils Abiturienten teilgenommen haben.

Eine Reihe von Studien kam sogar zu dem Ergebnis, dass eine längere Schuldauer den IQ anhebe (Ceci & Williams, 1997; Winship & Korenman, 1997; Hansen et al., 2004). Ceci & Williams (1997) erbrachten 7 verschiedene Nachweise, welche dafür sprechen, und Winship & Korenman (1997) schätzten den IQ-Anstieg auf 2 - 4 Punkte pro Unterrichtsjahr. Ob umgekehrt IQ-Werte auch die Schuldauer voraussagen können, bleibt ein Streitpunkt (Ceci & Williams, 1997; Dickens & Flynn, 2001; Hansen et al., 2004).

Um dann schließlich in der vorliegenden Arbeit eine gültige Verteilung innerhalb des Kollektivs zu erreichen, wurden auch Praktikanten und Lernbehinderte mit aufgenommen. Dennoch sind wohl am ehesten die Abiturienten als ausschlaggebend für den erhöhten Mittelwert anzusehen.

Die beschriebenen Zusammenhänge zwischen IQ-Werten und Umweltfaktoren sollten an dieser Stelle aufzeigen, auf welche Art der IQ nach Meinung der oben genannten Autoren beeinflusst werden kann. In einem späteren Abschnitt der Diskussion soll hierauf wieder Bezug genommen werden.

## **5.2    *Diskussion der „Johannson-like“ Stimuli***

Die Methode des PLD hat klare Vorteile: Einerseits hat man einen großen Kontrollgrad über den Stimulus, andererseits wird die visuelle Information auf die Körperbewegung beschränkt.

Der hier verwendete Stimulus des Walkers wurde bereits mehrfach in gleicher oder ähnlicher Weise von mehreren Forschern genutzt (Grossman et al., 2000; Grezes et al., 2001; Grossman & Blake, 2001; Vaina et al., 2001; Servos et al., 2002; Troje, 2002; Blake et al., 2003; Hirai & Hiraki, 2006; Troje & Westhoff, 2006), nachdem er erstmalig zu Forschungszwecken 1973 von Johansson beschrieben wurde. Verschiedenste Studien zeigten, dass sogar mit ähnlicher Markeranzahl komplizierte Bewegungen wie ein Tennisaufschlag (Pollick et al., 2001), ein Tänzer (Bonda et al., 1996), auf den Händen gehende Personen (Shipley, 2003) bzw. ein horizontal gespiegelter Gang (Grezes et al., 2001), verschiedene Aktivitäten, z.B. ein Karatekick (Grossman et al., 2000) oder Hüpfen und Werfen (Grossman & Blake, 2001; Blake et al., 2003) einwandfrei erkannt werden konnten. In einer Untersuchung von Vanrie & Verfaillie (2004) wurden 22 ziemlich kurze, gut abgrenzbare Aktionen konstruiert, von denen sich die meisten als fließende Schleife wiederholen ließen. Zwar wurde nur die Hälfte der Präsentationen spontan korrekt benannt, die Teilnehmer konnten jedoch nach einer Benennung und anschließend erneuten Betrachtung die Aktionen leicht voneinander unterscheiden und identifizieren.

Neri et al. (1998) konnten sogar zeigen, dass es möglich ist, einen gehenden Menschen zu erkennen, selbst wenn weniger Marker und eine andere Art der Bewegungsdarstellung benutzt werden. Nur die bewegten Punkte waren sichtbar, die starren bis zum Beginn der nächsten Bewegung „unsichtbar“.

Somit kann man davon ausgehen, dass die schlichte, gehende Figur als PLD auch sicher von gesunden Probanden, wie es auch die Teilnehmer der vorliegenden Arbeit waren, erkannt werden kann.



Der Scrambled-Stimulus, der für die Studie von Freitag et al. (2008) entworfen wurde und der Arbeit hier zugrunde liegt, unterscheidet sich jedoch von den verwendeten Stimuli anderer Studien. Nochmals kurz zusammengefasst wurden sowohl die Positionen der Trajektorien vertauscht, als auch das Geschwindigkeitsprofil entlang jeder Trajektorie mit einer konstanten Geschwindigkeit ersetzt. Außerdem blieb die Mitte der Punktwolke immer am gleichen Platz.

In den meisten Studien wurden für die Version des Scrambled nur die Startpositionen der Point-Lights vertauscht, während die Bewegungspfade intakt blieben (Grossman et al., 2000; Grossman & Blake, 2001; Vaina et al., 2001; Troje & Westhoff, 2006).

Wie wichtig gerade die räumliche Anordnung der PLDs zur Erkennung der menschlichen Figur ist, verdeutlichten Hirai & Hiraki (2006) mit ihrem Experiment, für welches sie drei verschiedene Scrambled-Versionen entwarfen. Zunächst das Vertauschen der Startpositionen, als zweites wurden die einzelnen Bilder zufällig gemischt und in der letzten Version wurden die beiden ersten Änderungen gleichzeitig angewandt (gemischte Reihenfolge der Bilder bei vertauschten Startpositionen). Ihre Ergebnisse wiesen darauf hin, dass zum Erkennen des Walkers die Positionen der PLDs entscheidender sein könnten als die zeitlichen Aspekte der Bewegung.

Um dem Faktor, welcher zum sicheren Erkennen des Walkers ausschlaggebend ist, näher zu kommen, hatten Casile & Giese (2005) einen komplett andersartigen Ansatz: Die Marker des Walkers wurden in vier Rechtecke aufgeteilt. Auf Kopf- und Hüfthöhe bewegten sich die Punkte vollkommen willkürlich, während auf Hand- und Fußhöhe die Punkte vertikal zufällig, jedoch horizontal sinusförmig und gegenläufig verliefen. Der Großteil der Probanden erkannte spontan einen Walker. Hier konnte erneut gezeigt werden, dass bei angemessener räumlicher Anordnung das Identifizieren eines gehenden Menschen möglich ist, selbst wenn der Stimulus nicht mit der Bewegungslehre des menschlichen Körpers übereinstimmt.

Diese beiden Studien bestätigen somit, dass es für den Scrambled-Stimulus ausreichen müsste, die Startpositionen der Point-Lights zu vertauschen, damit die Scrambled-Version einwandfrei vom gehenden Menschen unterschieden werden kann.



Bei der vorliegenden Arbeit kommt nun hinzu, dass das Geschwindigkeitsprofil entlang jeder Trajektorie mit einer konstanten Geschwindigkeit ersetzt wurde. Diese Manipulation verbirgt das typische Beschleunigungsprofil, welches für eine biologische Bewegung bezeichnend ist, nämlich die Pendelbewegung.

Dies verdeutlicht besonders die Studie von Troje & Westhoff (2006), welche vorrangig vom Umkehreffekt handelt, bei dem die ursprüngliche Punktwolke an einer horizontalen Ebene gespiegelt wird. Dadurch sind die gehende Figur (hier als Mensch, Katze oder Taube dargestellt) und ihre Bewegungsrichtung deutlich schwieriger zu erkennen. Die Beobachter konnten allerdings beim Vertauschen der räumlichen Anordnung Informationen über die Richtung wiedererlangen. Dies gelang jedoch nur bei den aufrecht präsentierten Versionen. Sie fanden nämlich heraus, dass die Füße die größte Rolle beim Erkennen der Figur und der Richtung spielten. Solange die Füße „auf dem Boden blieben“ machte es kaum einen Unterschied, ob die Figur intakt oder gescrambled dargestellt wurde. Sie interpretierten die Entdeckungen im Hinblick auf einen „visuellen Filter“, welcher auf die charakteristische Bewegung der Glieder eines fortbewegenden Menschen abgestimmt sei.

Dies bedeutet, dass die bislang verwendeten Scrambled-Versionen aufgrund ihrer Pendelbewegung immer noch in gewisser Hinsicht „biologisch“ waren.

Es gibt sogar eine Studie, die nur die zeitliche Komponente der Bewegung mittels zufälliger Reihenfolge der Bilder vertauschte. Blake et al. (2003) erklärten, dass dies die hierarchische, biologische Pendelbewegung störe und die resultierenden Animationen sich dadurch merklich von ihren biologischen Gegenstücken unterschieden.

Durch die Kombination aus der räumlichen und zeitlichen Veränderung in der vorliegenden Studie erscheint die Scrambled-Version subjektiv tatsächlich noch weniger „biologisch“ als in den bisherigen Studien.

Als letztes wurde noch die Auf- und Abbewegung der gesamten Punktwolke weggerechnet, sodass die Mitte der Wolke immer am gleichen Platz blieb. Das Auf und Ab könnte zusätzlich darauf hindeuten, dass es sich um ein Gehen handelt.

### **5.3     *Diskussion des RT-Experiments***

Eine der unzweifelhaften Entdeckungen in der Intelligenzforschung ist die negative Beziehung zwischen RT und Intelligenz, die sich ebenfalls in den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit widerspiegelt. Um herauszufinden warum diese besteht und welche Mechanismen ihr zugrunde liegen, haben Forscher eine Vielzahl verschiedener Techniken und Messmethoden verwendet, um sowohl spezifische Verarbeitungsgeschwindigkeiten oder simple und komplexe Aspekte der neuronalen Geschwindigkeit zu messen, als auch RT in kognitive und motorische Komponenten zu unterteilen.

Dabei war es von besonderem Belang, mittels einer bestimmten Aufgabenstellung oder Messmethode eine möglichst starke Korrelation zwischen der ermittelten Zeit und dem IQ zu demonstrieren, um zu zeigen, dass RT einen entscheidenden Beitrag zur Varianz der IQ-Werte leistet.

Die bekanntesten Methoden stammen von Jensen & Munro (1979) und Nettelbeck & Lally (1976), denen es unter Ausschaltung der Bewegungszeiten gelang, solche Zeiten zu messen, die einen stärkeren Bezug zur Intelligenz aufweisen sollten. Die sogenannte Entscheidungszeit von Jensen & Munro und die Inspektionszeit von Nettelbeck & Lally wurden bereits in der Einleitung ausführlicher besprochen.

Die Suche nach einer neuronalen Basis der Intelligenz hatte die Entwicklung einer Vielzahl neuer Messmarker zur Folge. Die verschiedenen Komponenten der ERP-Messungen konnten unter Ausschluss der MT hohe Korrelationen mit dem IQ erzielen (Deary & Caryl, 1997).

Auf die Wichtigkeit dieser Abtrennung wiesen Mohamed et al. (2003) hin, die mittels fMRT die zeitliche Abfolge von kortikalen Aktivitäten während einer einfachen visio-motorischen RT-Aufgabe bestimmten. Sie zeigten unter anderem, dass die periphere Motoreinheit einen größeren Beitrag zur RT leistet als die zentrale Verarbeitung. Unter der Annahme, dass die MT bei einer RT-Aufgabe jedoch nur einen extrem schwachen (Jensen, 1987; Bates & Eysenck, 1993; Roberts & Stankov, 1999) oder sogar andersartigen (Jensen & Munro, 1979; McGarry-Roberts et al., 1992) Einfluss auf den IQ hat, kann man verstehen, warum Forscher sich bemühten, Parameter mittels bestimmter Messverfahren zu finden bzw. Versuche unter spezifischen Bedingungen

durchzuführen, um die maximale Korrelation zwischen RT und IQ-Werten eruieren zu können (Bates & Stough, 1998).

Diese Studien untersuchten Zeiten, die von Motorantworten und möglichen peripheren Nervenleitungsgeschwindigkeiten unabhängig sind, und betonten deren Wichtigkeit. Wie kann es also sein, dass bei der hier verwendeten Aufgabenstellung und Meßmethode mittels Tastendruck das Ergebnis eine signifikante Korrelation aufweist? Eine Erklärung ist auf den folgenden Seiten beschrieben.

Es gibt auch Forscher, die dieselbe Methode, wie sie in der vorliegenden Studie beschrieben ist, verwenden, nämlich den Tastendruck. Dazu gehören unter anderem Studien von Larson et al. (1988), Diascro & Brody (1994), Deary et al. (2001), Schweizer & Koch (2003), Luciano et al. (2004) und Rypma et al. (2006).

In einer Studie über „Strategien und Prozeduren, die die Genauigkeit von RT-Parametern beeinflussen, und ihre Korrelationen mit der Intelligenz“ begründet Smith (1989), warum die Methode des Tastendrucks sinnvoll ist. Je nach Strategie der Probanden bei einer CRT-Aufgabe können die gemessenen DTs unterschiedliche Prozesse beinhalten. Auf der einen Seite beschreibt er die „Entscheidungsstrategie“, wobei der Proband erst nach erfolgter DT den Finger von der „home“-Taste löst. Andererseits gibt es die „Ermittlungsstrategie“, bei welcher die „home“-Taste bereits beim Erscheinen des Stimulus losgelassen wird, der Finger während einem Großteil der Entscheidungszeit über den Tasten schwebt, um schließlich die Antwort auszuwählen. Diese sind allerdings nur die beiden Extreme des Strategiespektrums, wobei das Loslassen der „home“-Taste zu jeder Zeit zwischendrin möglich ist. Daraus folgt, dass ein Teil der Entscheidungsprozesse in die Phase der MT eintreten könnte, was die Messungen der DT verfälschen würde. Daher empfiehlt Smith (1989) zunächst, dass man die RT, statt getrennt die DT von der MT, messen sollte, da jene die gesamte kognitive Zeit enthalte und unerwünschte Strategien dadurch vermieden werden könnten. Eine weitere Alternative zur Vermeidung bestimmter Strategien sei, statt Verwendung der getrennten Antworttasten von der „home“-Taste, die Einführung eines alleinigen Tastendrucks, da hier die RT unter größtmöglicher Kleinhaltung der MT

gemessen würde. Solch ein Apparat wurde als erstes von Smith & Stanley (1983) benutzt, womit sie signifikante Korrelationen zwischen RT und IQ nachweisen konnten. Schweizer & Koch (2003), die ebenfalls die Tastendruckmethode verwendeten, bestätigten in ihrer Studie über Wahrnehmungsprozesse und Intelligenz, dass die Korrelation zwischen IQ und RT bei ihrer Methode nicht von motorischen Abläufen beeinflusst werde, sondern vielmehr von Wahrnehmungsprozessen. IT und RT lieferten nämlich Korrelationen mit den IQ-Werten von gleicher Größe.

Trotzdem wurde die Methode in den vergangenen Jahren nur äußerst selten angewandt. Wenn also der Großteil der Forscher auf die strikte Trennung von DT und MT hinweisen oder sich andere Messverfahren zu Nutze ziehen, muss es noch einen anderen Grund geben, der die ermittelte signifikante Korrelation in der vorliegenden Arbeit erklären kann.

Der entscheidende Punkt liegt wohl in der Komplexität des präsentierten Stimulus. Dies gilt es nun näher zu erklären. Der Unterschied zwischen einem einfachen und komplexen Stimulus bzw. Aufgabenstellung liegt darin, dass ein einfacher, in diesem Fall visueller Stimulus meist nur aus einer Präsentation eines Punktes bis hin zu irgendeiner Gestalt besteht, die wahrgenommen und durch eine Antworttaste bestätigt werden soll, ohne dass eine bestimmte Identifizierung oder Entscheidung verlangt wird. Eine komplexe Aufgabe zeichnet sich entweder durch die Präsentation einer Gestalt aus, die es zu identifizieren gilt, oder durch die Darstellung verschiedener Stimuli, wobei eine Entscheidung getroffen werden soll, oder auch durch die Kombination aus diesen beiden.

Zahlreiche Studien belegen, dass bei einer einfachen Aufgabe mit RTs um 300 ms kaum eine Beziehung zwischen RT bzw. DT und IQ nachzuweisen ist (Korrelationen von -0,1 bis -0,2), und dass mit steigender Komplexität (RTs um 500-900 ms), welche eine umfangreichere Verarbeitung erfordert, die Stärke der Korrelation zwischen RT bzw. DT und IQ zunimmt (Korrelationen von -0,4 bis -0,5) (Jensen & Munro, 1979; Larson et al., 1988; McGarry-Roberts et al., 1992; Bates & Eysenck, 1993; Diascro & Brody, 1994; Roberts & Stankov, 1999; Deary et al., 2001; Jensen, 2004; Thoma et al., 2006). Allerdings weist die RT-IQ-Korrelation eine umgekehrte, U-förmige Beziehung

zur Aufgabenkomplexität auf. Sehr komplexe Aufgaben, vor allem jene mit langen RTs ( $>1200$  ms), zeigen wieder deutlich kleinere Korrelationen ( $-0,2$  bis  $-0,3$ ) (Jensen, 2004). Zunehmende Komplexität zeichnet sich durch verschiedene Weisen aus und stellt unterschiedliche Anforderungen an die Informationsverarbeitung. Ein Beispiel ist die Zunahme der Stimuli vom CRT zum Odd-Man-Out (OMO) in der Studie von Bates & Eysenck (1993). Beim CRT musste der Proband auf ein einzelnes Licht reagieren, wobei es ungewiss war, welches der acht möglichen Lichter angehen würde. Beim OMO gingen drei der acht Lichter an, wobei zwei davon einander näher standen als das Dritte. Die Aufgabe lautete, auf das abseits stehende Licht zu reagieren. Eine weitere Komplexitätssteigerung des OMO konnte durch den Vergleich von drei verschiedenen Abständen erreicht werden (Diascro & Brody, 1994). Dabei ist zu beachten, dass die Aufgabenänderung leicht verständlich ist und nicht einen erweiterten Denkprozess benötigt, um zur richtigen Lösung zu gelangen.

Die grundlegende Gestaltung einer optimal komplexen Aufgabe, die zu einer moderaten Korrelation zwischen RT und IQ führt, liegt darin, sie einerseits ausreichend einfach zu entwerfen, sodass die RT direkt auf die Geschwindigkeit elementarer Prozesse zurückgeführt werden kann, ohne dass bestimmtes Wissen, Fähigkeiten oder Strategien benötigt werden, und sie andererseits ausreichend komplex aufzubauen, sodass mehr verlangt werden kann als eine reine sensomotorische Operation. Da das Erkennen der Punktwolke für jede gesunde Person möglich ist, das Zusammensetzen der Punkte zu einer Figur jedoch mehr als nur eine sensomotorische Verarbeitung benötigt, kann das Erkennen des Walkers als eine komplexe Aufgabe bezeichnet werden.

Eine andere Steigerung der Komplexität wird durch das Verlangen einer Entscheidung erreicht (Roberts & Stankov, 1999). In deren Fall wurden verschiedene Zahlen nacheinander dargestellt und der Beobachter musste jeweils entscheiden, ob die erwartete, zuvor mitgeteilte Zahl präsentiert wurde oder nicht und sollte daraufhin die „ja“- oder „nein“-Taste betätigen. Obwohl die übermittelte Information von simpler Natur war, stieg das Ausmaß der DT beachtlich an, da eine Entscheidungsantwort verlangt worden war. Solch eine Entscheidung galt es auch in der vorliegenden Studie zu treffen, bei der je nach Präsentation des Walkers oder Scrambled die eine bzw. andere Taste zu drücken war.

Während sich die DTs bei einigen Studien mit zunehmender Komplexität verlängerten und die Korrelationen mit dem IQ verstärkten, blieben die MTs und dessen Beziehungen relativ konstant (Jensen & Munro, 1979; McGarry-Roberts et al., 1992; Bates & Eysenck, 1993; Roberts & Stankov, 1999). Wenn man beide Zeiten zu RT zusammennimmt, gewinnt DT unter ansteigender Komplexität der Aufgabe immer stärkeren und MT immer schwächeren Einfluss auf die RT. Ab einem gewissen Komplexitätsgrad lässt sich demnach folgern, dass die motorische Komponente zunehmend an Einfluss verliert und RT somit als gültiges Maß stark mit dem IQ zu korrelieren vermag. Beim optimalen, moderaten Komplexitätsgrad wäre dann die Beziehung zwischen IQ und RT auf die reine Verarbeitungsgeschwindigkeit zurückzuführen (Jensen, 2004). Roberts & Stankov (1999), die bei einer großen Reihe verschiedenster Aufgaben sowohl DT und MT als auch RT bestimmten, konnten belegen, dass RT in komplexen Aufgaben eine hohe Korrelation mit der Intelligenz aufweist.

Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass die signifikante Korrelation bei der vorliegenden Arbeit auf die Komplexität des Stimulus und das Verlangen einer Entscheidung zurückzuführen ist. Auch die Methode des Tastendrucks ist als gültig anerkannt und seine Vorteile sind begründet worden. Umgekehrt kann man auch aus der Stärke der Korrelation und der benötigten RTs (siehe 4.3 Ergebnisse des RT-Experiments) schließen, dass die verwendete Aufgabe optimal komplex war. Jensen (2004) vermutet nämlich, die RT könnte das beste Maß für die Aufgabenkomplexität bieten.

Auffallend sind jedoch noch zwei Resultate dieser Studie: die stärkere Korrelation mit dem hIQ und die längere RT beim Scrambled.

Unter den erwähnten Studien gibt es einige, deren Reaktionszeiten nur mit dem hIQ korrelieren. Dazu gehören unter anderem ermittelte ITs (Mackintosh & Bennett, 2002; Osmon & Jackson, 2002) oder sogar die ERP-Komponente P3a von Walhovd et al. (2004). Dagegen sprechen die gemessenen CRTs und ITs von Bates & Eysenck (1993) und Luciano et al. (2004), die eine ähnliche Korrelation mit dem vIQ und dem hIQ nachwiesen. Interessanterweise verwendeten Mackintosh & Bennett (2002), Osmon &

Jackson (2002) und Walhovd et al. (2004) die WAIS und die anderen beiden Studien von Bates & Eysenck (1993) und Luciano et al. (2004) den „Multidimensional Aptitude Battery“ (MAB) zur Intelligenzmessung. In der vorliegenden Studie trat die Korrelation mit dem hIQ ebenfalls nach Anwendung der WAIS hervor.

Auf ein Problem der WAIS deuteten Mackintosh & Bennett (2002) hin: Der verbale Teil, welcher mit einer Erkennungs- bzw. Handlungsaufgabe nicht funktionell in einen Zusammenhang gebracht werden kann, gewichte nämlich den allgemeinen Faktor stärker als der Handlungsteil, sodass es schwierig sein könnte, die Korrelation zwischen den Reaktionszeiten -in deren Fall die IT und in der vorliegenden Arbeit die RT- und dem IQ aufrecht zu erhalten.

Ackerman & Cianciolo (2002) nehmen außerdem an, dass es wahrscheinlicher ist, eine höhere Korrelation mit räumlichen Fähigkeiten (hIQ) als mit verbalen oder sogar allgemeinen Fähigkeiten aufzuweisen, auch wenn die zugrunde liegenden Prozesse wesentlich andere Anforderungen haben, falls eine RT-Aufgabe von der Verarbeitung eines räumlichen Inhalts abhängt. Dies gilt selbstverständlich auch für die umgekehrte Richtung.

Beides würde erklären, warum in der vorliegenden Studie der Gesamt-IQ eine Tendenz mit der RT aufweist, und nur der hIQ eine signifikante Korrelation mit der RT hervorbringt ( $p < 0,05$ ).

Des weiteren zeigt sich beim Scrambled-Stimulus eine deutlich längere RT als beim Walker, obwohl der Scrambled so „un-biologisch“ wie möglich geschaffen wurde, um die Unterscheidung zum Walker zu garantieren. Anscheinend wurde dabei jedoch ein zu komplexer Stimulus geschaffen. Es resultiert immerhin noch eine Tendenz für eine Beziehung zwischen der RT und dem hIQ, die Signifikanz wird nicht mehr erreicht. Dies ist im Einklang mit der bereits angesprochenen umgekehrten, U-förmigen Beziehung zwischen der Aufgabenkomplexität und RT und deutet darauf hin, dass zum Erkennen des Scrambled höhere kognitive Verarbeitung oder strategische, undefinierte Prozesse, welche eine längere RT nach sich ziehen, nötig waren. Somit resultiert das interessante Ergebnis, dass die Kognition des Walkers mit dem hIQ korreliert und beim Erkennen des Scrambled sich die Korrelation jedoch wieder verwischt.



Eine andere Aufgabenstellung von Houlihan et al. (1998) zeigte dieselben Resultate. Sie sollte die Zugriffsgeschwindigkeit auf das Kurzzeitgedächtnis bewerten. Dafür wurden den Teilnehmern 1, 3 oder 5 Konsonanten präsentiert, die sie sich merken sollten. Anschließend wurde ein Buchstabe nach dem anderen dargeboten, auf den je nach Übereinstimmung mit den zuvor präsentierten Konsonanten mit der „ja“- oder „nein“-Taste reagiert werden sollte. Die Ergebnisse zeigten, dass die DTs stets schneller bei Übereinstimmung als bei einer Nichtübereinstimmung waren. Offenbar dauert das Verifizieren des Nichterscheinens einer erwarteten Darstellung länger, und könnte als ein weiterer Faktor für eine verlängerte RT sowohl in dieser, als auch in der vorliegenden Studie, gelten.

Dass nicht eindeutig zu erkennende Informationen schwieriger bzw. langsamer zu erfassen sind, zeigten auch Schweizer & Koch (2003). Dabei wurden nicht verschiedene Figuren wie bei vorliegender Arbeit gezeigt, sondern es genügte, dass in der Umgebung des relevanten Stimulus zusätzlich irrelevante Stimuli präsentiert wurden, damit die RTs anstiegen. In ihrer Studie bewegten sich die RTs dabei noch in solch einem Rahmen, dass auch die Korrelation mit dem IQ während des Hinzuziehens der irrelevanten Stimuli weiter zunahm.

Einige Begrenzungen der vorliegenden Studie sind jedoch zu beachten: Zunächst stellt sich die Frage, ob das Kollektiv repräsentativ ist. Bereits mehrere Forscher kritisierten, dass der Großteil der Studien auf diesem Gebiet mit ausgewählten Stichproben aus jungen Schülern oder Studenten durchgeführt werden, die einen höheren Mittelwert und eine verminderte Spannweite der IQ-Werte aufweisen (Deary et al., 2001; Der & Deary, 2003). Zwar bestand in der vorliegenden Arbeit ein höherer Mittelwert, jedoch liegt, wie bereits in „5.1 Diskussion der IQ-Ergebnisse“ erwähnt, eine gültige und ausreichend breite Verteilung vor.

Hinzu kommt die einschränkende Bewertung wegen der eventuell zu kleinen Stichprobengröße. Es ist möglich, dass die signifikante Korrelation zwischen hIQ und RT die Folge von Stichprobenfehler ist und ein zunehmender Stichprobenumfang die Korrelation verringern würde.



Zuletzt könnte natürlich die Methode des Tastendrucks, die in den vergangenen Jahren nur selten verwendet wurde, von den Forschern kritisiert werden, die sogar noch nach der Studie von Smith (1989) auf die Wichtigkeit der Abtrennung der MT von der RT drängen. Daher kann es für zukünftige Nachforschungen von Nutzen sein, eine andere Messmethode zu verwenden, die eine Einteilung nach DT und MT beim Erkennen des Walkers erlaubt.

Für weitere Untersuchungen wäre es sinnvoll, die Aufgabe mit einer ERP-Messung zu verknüpfen oder eine mögliche Korrelation mit einer IT-Aufgabe zu untersuchen. Dies könnte eventuell die Bedeutung der RT beim Erkennen des Walkers und eine gemeinsame Basis stärker ans Licht bringen. Verschiedene Forscher haben bereits Beziehungen zwischen RT und der P300-Latenzzeit aus ERP-Messungen untersucht (McGarry-Roberts et al., 1992; Houlihan et al., 1998; Beauchamp & Stelmack, 2006). Beauchamp & Stelmack empfahlen, P300-Messungen mit weiteren komplexen Aufgaben durchzuführen, um die bestehenden Ergebnisse zu erhärten. McGarry-Roberts et al. und Houlihan et al. folgerten, dass die P300-Latenzzeit und RT verschiedene Komponenten der kognitiven Informationsverarbeitung darstellen, welche beide negativ mit dem IQ korrelieren. Dabei stehe die P300-Latenzzeit für die Stimulusbewertungszeit, wohingegen die RT als die Zeit zur Erzeugung einer Antwort gesehen werden könne. Andere Studien untersuchten mögliche Zusammenhänge von RT und IT (Bates & Eysenck, 1993; O'Connor & Burns, 2003; Luciano et al., 2004). Bisher sind die Ergebnisse jedoch äußerst unstimmig.

Eine weitere Möglichkeit für zukünftige Untersuchungen wäre, die Beziehungen der vorliegenden oder ähnlicher Ergebnisse zu verschiedenartigen Parametern zu prüfen, wie z.B. ein Vergleich mit Untertests der visuellen Verarbeitung (Osmon & Jackson, 2002) oder mit anderen Geschwindigkeitsaufgaben, um den Grundlagen der Unterschiede in Bezug auf die kognitive Verarbeitungsgeschwindigkeit näher zu kommen.

Trotz mehrer Vorschläge zur Vertiefung und Verbesserung konnte die vorliegende Studie zeigen, dass die benötigte RT zum Erkennen des Walkers ein weiteres verlässliches Maß der Informationsverarbeitung mit beachtlichem Bezug zum IQ

#### -Diskussion-

darstellt. Insgesamt würden weitere Nachforschungen, die Intelligenz und Geschwindigkeitsperformanz bei solchen Aufgaben wie dem Erkennen des Walkers miteinander in Beziehung setzen, zu einem besseren Verständnis von dem, was wir als Intelligenz bezeichnen, führen.

#### **5.4    *Diskussion des fMRT-Experiments***

In der vorliegenden neuroanatomische Studie wurde außerdem die Korrelation zwischen den Hirnaktivitäten während einer Erkennungsaufgabe im fMRT und den gemessenen IQ-Werten der Probanden untersucht. Signifikante positive Korrelationen beim Beobachten des Punktemusters zeigten sich zwischen dem hIQ und den Aktivitäten im BA 9 und 40 rechts und BA 37/19 beidseitig, beim vIQ hingegen vorwiegend bei BA 9, 10 und 7 beidseitig, BA 32/24 und 40 rechts und BA 22 und 19 links. In der negativen Korrelation kamen ebenfalls einige signifikante Ergebnisse zum Vorschein: Beim hIQ waren es Aktivierungen im BA 4 rechts und BA 11 links. Die Maxima des vIQ lagen in der linken Hemisphäre bei BA 44/45 und 11. Dies sind die wesentlichen Ergebnisse für die Diskussion.

Andere funktionelle Studien verwendeten meistens Teile aus Intelligenztests oder sehr ähnliche Aufgabenstellungen, um danach zu suchen, welche Areale intelligentere Menschen beim Lösen solcher Aufgaben bevorzugt verwenden als weniger Intelligente (z.B. Duncan et al., 2000; Neubauer et al., 2004; Lee et al., 2006). In der vorliegenden Arbeit soll jedoch der Verbindung zwischen Intelligenz und Informationsverarbeitung bzw. Kognition nachgegangen werden. Es wurden Hirnareale ermittelt, in denen auf unterschiedliche Art von außen wahrgenommene Eindrücke verarbeitet wurden. Welche sind nun die Komponenten dieser Verarbeitungsprozesse, die für die interindividuelle Varianz hinsichtlich der Intelligenz kritisch sein könnten?

#### **5.4.1 Studien mit positiver Korrelation zwischen IQ und Aktivität**

Dem ersten Ergebnisteil zufolge könnte man annehmen, dass Menschen mit hohem IQ bessere Leistungen erbringen, da sie einen gewissen Teil der benötigten Areale stärker aktivieren. Die Messungen lassen sogar vermuten, dass diese Personen alleine schon beim Beobachten ihrer Umwelt verschiedene Hirnareale verstärkt rekrutieren, auch dann, wenn keine bestimmte Entscheidung verlangt wird.

Erst in den letzten Jahren tauchten funktionelle Studien auf, die eine positive Korrelation zwischen der Hirnaktivität und dem Intelligenzgrad aufwiesen (Gevins & Smith, 2000; Gray et al., 2003; Geake & Hansen, 2005; Lee et al., 2006). Trotz der unterschiedlichen Aufgabenstellungen und Methoden der Intelligenzbestimmung zeigten sich wiederholt positive Korrelationen in frontalen Hirnregionen. Darunter befinden sich auch die im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelten präfrontalen Areale BA 9 und 10.

Schon früh erkannte man die wichtige Bedeutung des Frontallappens für die Intelligenz. Im Review von Kane & Engle (2002) über den präfrontalen Kortex findet man Zitate aus zwei Veröffentlichungen älteren Datums: „[...] die frontalen Lappen [...] mit ihren assoziierten Sinneszentren bilden das Substrat jener psychischen Prozesse, welche an der Basis höherer intellektueller Handlungen liegen.“ (Ferrier, 1886, S. 467) und „Verschiedene Individuen zeigen unter offenbar denselben Bedingungen Unterschiede hinsichtlich des Grads der Aufmerksamkeit [...]. Als einen Vorschlag der Bedeutung dieser allgemeinen, individuellen Bedingungen könnten wir vermuten, dass solche Dinge wie [...] die frontalen Lappen oder irgendeine Funktion davon eine „mentale Struktur“ oder Organisation oder „intellektuelle Energie“ darstellt.“ (Woodrow, 1916, S. 285).

Waltz et al. (1999) betrachteten den präfrontalen Kortex als Ganzes. Die Ergebnisse ihrer Studie mit Gehirnläsionen wiesen darauf hin, dass ein intakter Präfrontalkortex für die generelle Integration komplexer kognitiver Beziehungen entscheidend sein und diverse Fähigkeiten wie Planung, Problemlösung und fluide Intelligenz von den präfrontalen Funktionen abhängen könnte.

Mehrere Forscher unternahmen den Versuch, das Hirnareal oder den Bereich zu bestimmen, welcher die Intelligenz am meisten unterstützt. Gray et al. (2003), die Hirnaktivierungen im fMRT während der Ausführung verschiedener Aufgaben betrachteten, ermittelten im speziellen den lateralen PFC (BA 9, 10, 44, 45 und 46) als Schlüsselregion für die interindividuelle Variabilität der Intelligenz. Das BA 9 spielt z.B. eine wichtige Rolle für die Wahrnehmungs- und kognitive Kontrolle, das Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis oder die Aufmerksamkeit (Kane & Engle, 2002). Einige Wissenschaftler bezeichnen hingegen das BA 10 als Zentrum der biologischen Intelligenz, da es an höheren kognitiven Funktionen wie Problemlösen, Planen, Reihenfolgebilden, Schlussfolgern und Beurteilen beteiligt ist (Narr et al., 2006). Man erkennt bereits, dass es schwer ist, eine präzise Auskunft über die Funktionen der einzelnen präfrontalen Regionen zu geben, welche für eine Vielfalt von Verhaltensweisen wichtig sind, und daher als „psychologischer Kern des statistischen Konstrukts der fluiden Intelligenz“ gesehen werden (Kane & Engle, 2002).

Wie auch die folgenden Areale, die hier besprochen werden, erlaubt das Ergebnis natürlich eine Vielfalt an Interpretationen, aber als tragbare Annahme gilt dennoch, dass individuelle Funktionsunterschiede der präfrontalen Areale eine biologische Grundlage von Intelligenzunterschieden darstellen.

Es gibt allerdings noch mehr Hirnareale, denen hinsichtlich der Intelligenz eine spezielle Bedeutung zugesprochen wird, beispielsweise im Parietallappen. In einem Review von Jung & Haier (2007), welches auf 37 moderne funktionelle und strukturelle bildgebende Studien zurückblickt, die sich mit der Frage „Where in the brain is intelligence?“ beschäftigten, wurde besonders auf den Einfluss des Parietallappens Wert gelegt. In fast dreiviertel der Studien wurden neben Arealen im Frontallappen die parietalen Areale BA 40 und/oder BA 7 erwähnt und erbrachten somit den starken Nachweis für die Beteiligung des Parietallappens über eine Unmenge von Denkaufgaben.

In einer dieser Studien kamen Geake & Hansen (2005) in Übereinstimmung mit anderen Nachforschungen zum Schluss, dass vornehmlich bei intelligenteren Personen Aktivierungen im inferioren Parietallappen (BA 40) und Precuneus (BA 7) an der Verarbeitung visuell präsentierter, quasi-räumlicher Probleme beteiligt wären.

Aktivierungen im BA 40 des inferioren Parietalkortex kommen sowohl bei räumlichen Denkprozessen, visiomotorischer Umsetzung oder erneutem Abrufen gelernter Abfolgen von Fingerbewegungen, als auch beim Vergleichen und Abstimmen von visuell präsentierten Objekten vor (Faillenot et al., 1997). Das BA 7 im Precuneus ist stark in einem Netzwerk integriert, welches an visuospatialer Informationsverarbeitung, episodischem Gedächtnis und Selbstbild bzw. -referenz beteiligt ist. Übereinstimmende Nachweise deuten auf die Mitwirkung des lateralen Parietallappens und Precuneus hin, Aufmerksamkeit im Raum nicht nur während zielgerichteten Bewegungen, sondern auch in Abwesenheit einer sichtbaren Motorantwort zu lenken (Cavanna & Trimble, 2006). Die spezifische Rolle des Precuneus ist noch nicht so gründlich wie andere Areale erforscht worden, weshalb sich schwer erklären lässt, auf welche Weise Personen mit höherem IQ von einer verstärkten Aktivierung beim Beobachten des Walkers profitieren. Ein bedeutender Aspekt ist jedoch die anhaltende Aufmerksamkeit, welche Forscher wie Schweizer et al. (2000) als einen entscheidenden Einflussfaktor bezüglich der Intelligenz sehen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit untermauern hiermit die allgemeine Vermutung, dass neben präfrontalen Hirnregionen auch die parietalen Areale BA 40 und 7 eine bedeutende Rolle im Hinblick auf interindividuelle Intelligenzunterschiede spielen (Jung & Haier, 2007).

Interessanter ist daher die Betrachtung einer Hirnregion, welche selten in Intelligenzstudien erwähnt wurde, das BA 37/19. Im Gegensatz zu den zuvor erwähnten Nachforschungen waren in der PET-Studie von Haier et al. (2003) keine IQ-Test-Aufgaben während der Messungen zu erfüllen. Stattdessen schauten ihre Probanden (Alter  $22,1 \pm 2,6$  Jahre) Videos an, ohne dass inhärentes Schlussfolgern oder Problemlösen gefordert war. Dabei handelte es sich um ein „negativ-“ und ein „neutral-emotionales“ Video zur weiteren Studie des emotionalen Gedächtnisses, welche keinen Bezug zur Intelligenz erkennen ließen. Haier et al. vermuteten jedoch, dass intelligentere Probanden mit einem zusätzlichen Grad an Kognition die Videos anschauen könnten, dessen Ausmaß sich in den Resultaten widerspiegeln sollte. Tatsächlich korrelierten Hirnaktivitäten einiger posteriorer Areale (BA 7, 18 und 37/19

beidseits) mit den IQ-Werten der Probanden positiv, von denen die stärkste Hirnaktivierung im linken temporo-okzipitalen Assoziationsareal BA 37/19 lag.

Das kortikale Assoziationsareal um BA 37 ist an der Analyse visueller Formen oder Bewegungen, an der Objektrepräsentation (Narr et al., 2006) oder Objekterkennung (Stewart et al., 2001) und an der Sprachintegration (Büchel et al., 1998) beteiligt. Diese integrative Funktion scheint mit Objektidentifizierung und -übersetzung in ein Sprachformat zu tun zu haben (Haier et al., 2003).

Vor der Studie von Haier et al. gab es zwar noch keine beschriebene Verbindung zwischen dem spezifischen Areal BA 37/19 und der allgemeinen Intelligenz, aber in einigen früheren PET-Studien wurden Aktivitäten in dieser temporo-okzipitalen Region gefunden, welche in Beziehung zu verschiedenen Messungen von „g“ standen (Risberg & Ingvar, 1973; Parks et al., 1988; Haier et al., 1992). Haier et al. (2003) stellten einige Hypothesen über den Zusammenhang des Areals mit dem IQ auf: Möglicherweise diene das BA 37/19 der Intelligenz, indem dort höher geordnete, sprachbasierte Konzepte mit dem einlaufenden, visuellen Informationsstrom zusammenlaufen und miteinander verarbeitet werden. Alternativ könnten intelligendere Personen auch aktiver an der Objektidentifizierung und -übersetzung involviert sein. Weitere Hypothesen über die Ergebnisse seiner Studie stellen eine Verbindung zwischen Aufmerksamkeit und Intelligenz her, bei der das BA 37/19 ebenfalls eine Rolle spielen könnte.

Die Studie zeigte, dass das Assoziationsareal BA 37/19 beim Verarbeiten von sogenannten „nonreasoning Tasks“, d.h. Aufgaben ohne kognitiven Gehalt, mit individuellen g-Unterschieden assoziiert ist. Daher vermuteten Haier et al. (2003), dass der g-Faktor eine durchaus bedeutendere Rolle beim Vermitteln von früher Informationsverarbeitung spielen könnte, als man bisher angenommen hatte. Somit steht ein weiterer Teil der gefundenen Ergebnisse, die ebenso während des Verarbeitungsprozesses einer Aufgabe ohne kognitiver Herausforderung resultierten, im Einklang mit früheren Forschungsarbeiten.

Der direkte Vergleich mit anderen Aktivitätsuntersuchungen ist allerdings nicht unproblematisch. Es ließ sich z.B. keine funktionelle bildgebende Studie finden, in der

eine signifikante positive Korrelation zwischen der Hirnaktivität und dem IQ im linken BA 22 hervorgehoben wurde.

Dafür kann es vielerlei Ursachen geben: Erstens kommen je nach Aufgabenstellung unterschiedliche Areale durch die verschiedenen kognitiven Mechanismen zum Einsatz, zweitens sind die verschiedenen Messmethoden wie fMRT, PET und EEG oft nicht direkt miteinander vergleichbar oder unterschiedliche Analysemethoden werden verwendet und drittens gibt es zu viele Faktoren, die die Hirnaktivität beeinflussen können, wie z.B. Alter, Geschlecht und organische Erkrankungen. Hinzu kommt, dass man sich über die Gültigkeit der verwendeten Strukturmodelle der Intelligenz nicht einig ist, und somit auch die einzelnen Interpretationen den Vergleich miteinander erschweren. Die einen verwenden die allgemeine Intelligenz  $g$  als Parameter, die anderen z.B. die fluide Intelligenz. Je nachdem, was geprüft wird, werden Aktivitäten in verschiedenen Regionen dargestellt.

Funktionelle Bildgebungsstudien können außerdem nicht direkt beweisen, dass die Aktivität einer Hirnregion für einen kognitiven Prozess ursächlich ist. Dieses Problem weisen vor allem komplexe Aufgaben auf. Aufgrund der Komplexität ist es schwer im gleichzeitigen Zusammenspiel die Prozesse, Fähigkeiten und Strategien voneinander zu isolieren. Außerdem nimmt man an, dass die individuellen Unterschiede in Aktivitäts-Performance-Beziehungen sogar zwischen den eigenen unterschiedlichen Hirnregionen variieren können (Rypma et al., 2006).

#### **5.4.2 Studien mit positiver Korrelation zwischen IQ und Hirnvolumen**

Während funktionelle Messungen und ihre Interpretationen stark an die experimentellen Aufgaben gebunden sind, die die Hirnaktivierungen veranlassen, haben strukturelle Messungen den Vorteil, unabhängig von den Effekten der Aufgabenstellung zu sein. Unterschiede in den GM-Volumina spezifischer Areale könnten zu einem gewissen Grad das Muster funktioneller Korrelationen in bildgebenden Intelligenzstudien bestimmen. Daher ist es wichtig zu untersuchen, ob individuelle Unterschiede hinsichtlich der



regionalen Volumina der in dieser Arbeit erwähnten Hirnregionen bestehen, die mit den Teilwerten der Intelligenz positiv korrelieren.

Volumetrische Studien, die VBM einsetzten, präsentierten Korrelationen zwischen den GM-Volumina und der Intelligenz, welche übers ganze Gehirn verteilt waren. In einer dieser Studien von Haier et al. (2004) werden gerade solche Areale erwähnt, die sie als entscheidend für die GM-Variation der Intelligenz beschreiben und auch in der vorliegenden Studie als positive Korrelationen zwischen IQ und Hirnaktivität bei der Perzeption der Punktwolke vorkommen (s. Abb. 18).

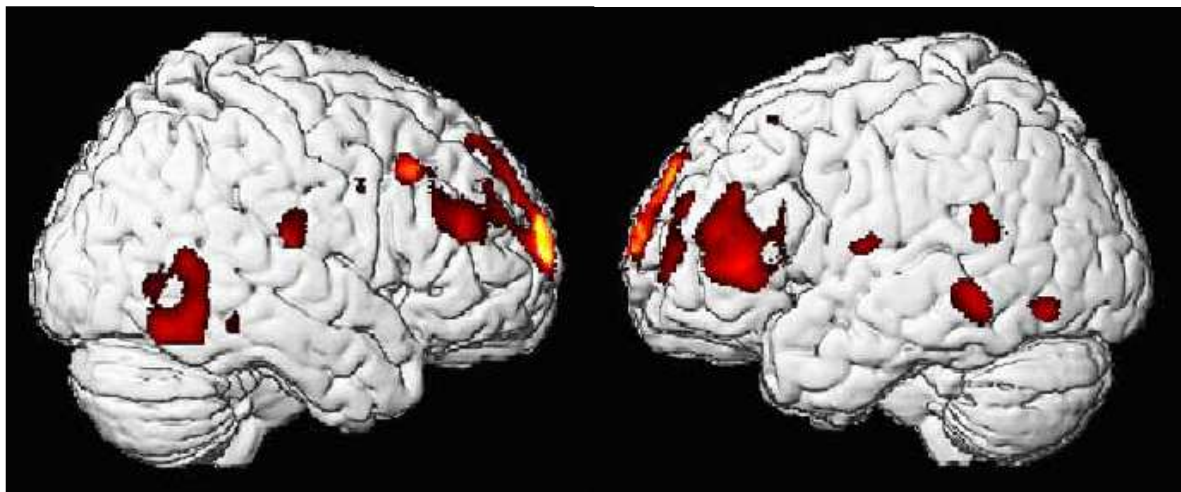


Abb. 18: Korrelation zwischen GM und IQ, aus Haier et al. (2004)

Haier et al. (2004) untersuchten mittels VBM die Hirnstruktur zweier Altersgruppen (mittleres Alter: 27 und 59 Jahre) und zeigten, dass es mit zunehmendem IQ strukturelle Unterschiede in der grauen Substanz gibt. Mit der Annahme, dass ein größeres Volumen einer vermehrten Aktivität zugrunde liegt, und beide jeweils mit dem IQ positiv korrelieren, lohnt sich ein Vergleich dieser Studie mit der vorliegenden. Das Konjugationsergebnis aus beiden Gruppen zeigte robuste positive Korrelationen, unter anderem beidseits in den frontalen BA 9 und 10 und im Assoziationsareal BA 37/19, linksseitig in den parietalen BA 40 und 7 und im temporalen BA 22 und im rechten Gyrus cinguli in den BA 32 und 24. Es lagen keine signifikanten negativen Korrelationen vor.

Die Lokalisation der stärksten Befunde im Frontallappen (BA 9, 10 und 46) stimmen mit früheren Ergebnissen aus funktionellen bildgebenden Studien und mit der vorliegenden Arbeit überein und bekräftigen damit die Bedeutung der frontalen Hirngebiete für die Intelligenz. In der jüngeren Gruppe ( $27 \pm 5,9$  Jahre) tritt die stärkste Korrelation zwischen IQ und GM-Volumen im linken Temporallappen in BA 37 auf (vgl. Haier et al., 2003).

Es gibt noch eine Reihe weiterer volumetrischer Studien, die positive Korrelationen zwischen IQ und GM-Volumen vorweisen. Dabei werden vor allem die frontalen Areale und das anteriore Cingulum durchgehend erwähnt (Wilke et al., 2003; Frangou et al., 2004; Gong et al., 2005; Colom et al., 2006), wobei am häufigsten die Areale BA 9 rechts und BA 10 links vorkommen. Was die anderen Regionen angeht, sind sich die Studien jedoch nicht einig. Dies könnte auf die verschiedenen verwendeten morphometrischen Analysen, IQ-Messungen oder unterschiedlichen Altersgruppen zurückgeführt werden.

Ein besonders komplexes Aufgabenfeld hat das anteriore Cingulum (engl.: anterior cingulate cortex, ACC), welches die BA 32 und 24 einschließt. Unter einer endlosen Reihe an Funktionen, die mit verschiedenen kognitiven Prozessen in Verbindung gebracht werden können, werden unter anderem folgende erwähnt. Der ACC ist sowohl an einem Aufmerksamkeitsprozess, welcher zum Auslösen eines bestimmten motorischen oder verbalen Verhaltens benötigt wird, als auch an der Unterdrückung unangemessener Reaktionen beteiligt. Er spielt somit eine aktive, kognitive Rolle bei der Kontrolle von Vorgängen anderer Regionen. Weitere kognitive, als auch emotionale Funktionen sind abhängig von den in Verbindung stehenden Hirnarealen (Cabeza & Nyberg, 2000). O'Boyle et al. (2005) nahmen an, dass bestimmte Hirnregionen, einschließlich des ACC, ein entscheidender Bestandteil eines universellen Informationsverarbeitungsnetzwerkes sein könnte, auf welches sich Hochbegabte verlassen, ungeachtet der Natur ihrer außergewöhnlichen Fähigkeiten. Wilke et al. (2003) bezeichneten in ihrer volumetrischen Studie den ACC sogar als „Spitze des Eisbergs“ aufgrund seiner wichtigen Rolle beim Lösen vielseitiger Aufgaben, welche zur Bewertung menschlicher Intelligenz beitragen. Unter den jugendlichen Probanden (14-

bis 18,8 Jahre) trat eine starke Assoziation zwischen dem IQ und dem GM-Volumen im ACC auf und unterstützt zusammen mit den anderen erwähnten Studien die Bedeutung der ermittelten positiven Korrelation im ACC in der vorliegenden Arbeit.

Ein Areal wurde allein in der volumetrischen Intelligenzstudie von Haier et al. (2004) erwähnt, das linke BA 22, welches ebenfalls der interindividuellen Varianz der Intelligenz zu Grunde liegen soll.

Der hintere Teil dieses Areals, welcher die Wernicke-Region, das sensorische Sprachzentrum, enthält, ist am bekanntesten. Es macht außerdem einen Teil des superioreren Temporalsulcus (STS) aus, der eine wichtige Komponente des Wahrnehmungssystems darstellt. Der STS wird z.B. beim Betrachten von Augen-, Mund-, Hand- und Körperbewegungen aktiviert, was darauf hindeutet, dass es an der Analyse und Verarbeitung von biologischer Bewegung beteiligt ist. Allerdings wird der STS auch durch statische Bilder von Gesicht oder Körper aktiviert, sodass man annehmen kann, diese Region sei auch empfindlich gegenüber angedeuteter Bewegung (Allison et al., 2000; Puce & Perrett, 2003). Möglicherweise untersucht der STS sogar die Übereinstimmung, inwieweit die Bewegung einer anderen Person mit ihren Absichten in Beziehung gebracht werden kann (Wyk et al., 2009). Somit scheint der STS nicht nur oberflächlich an der Erkennung von biologischer Bewegung beteiligt zu sein, sondern auch an ihrer Integration in einen sozialen Kontext. Durch die Teilnahme an der Entschlüsselung komplexer sozialer Signale könnte der STS eine wichtige Rolle spielen und angemessenes soziales Verhalten sowie emotionale Reaktionen ermöglichen (Puce & Perrett, 2003).

Neben in der volumetrischen Studie von Haier et al. (2004) berichteten auch Colom et al. (2006) über positive Korrelationen im linken temporalen Kortex BA 37, beiden BA 40 parietal und BA 18 und 19 okzipital. Daher wiesen Frangou et al. (2004) darauf hin, dass verschiedene Techniken, wie z.B. ERPs oder fMRT, zusätzlich zu strukturellen MRT-Messungen möglicherweise hilfreich wären, um die Beziehung zwischen Kognition und Hirnstruktur weiter aufzuklären.

Eine andere Möglichkeit besteht im Vergleich mit Messungen der Gehirndicke. Dieser Untersuchung widmeten sich beispielsweise Narr et al. (2006), mit der Annahme, sie reflektiere die zytoarchitektonischen Charakteristika besser und ihre Messungen könnten enger mit Kognition bzw. intellektueller Fähigkeit verwickelt sein als Volumen- oder Dichtemessungen. Die Ergebnisse der weiblichen und männlichen Probanden (mittleres Alter: 28 Jahre, IQ nach Wechsler:  $100 \pm 13$ ) zeigten eine starke Verteilung über das ganze Gehirn. Unter anderem kamen Korrelationen zwischen kortikaler Dicke und dem IQ in den Arealen BA 10 frontal, 37 temporal und 19 okzipital vor (s. Abb. 19).

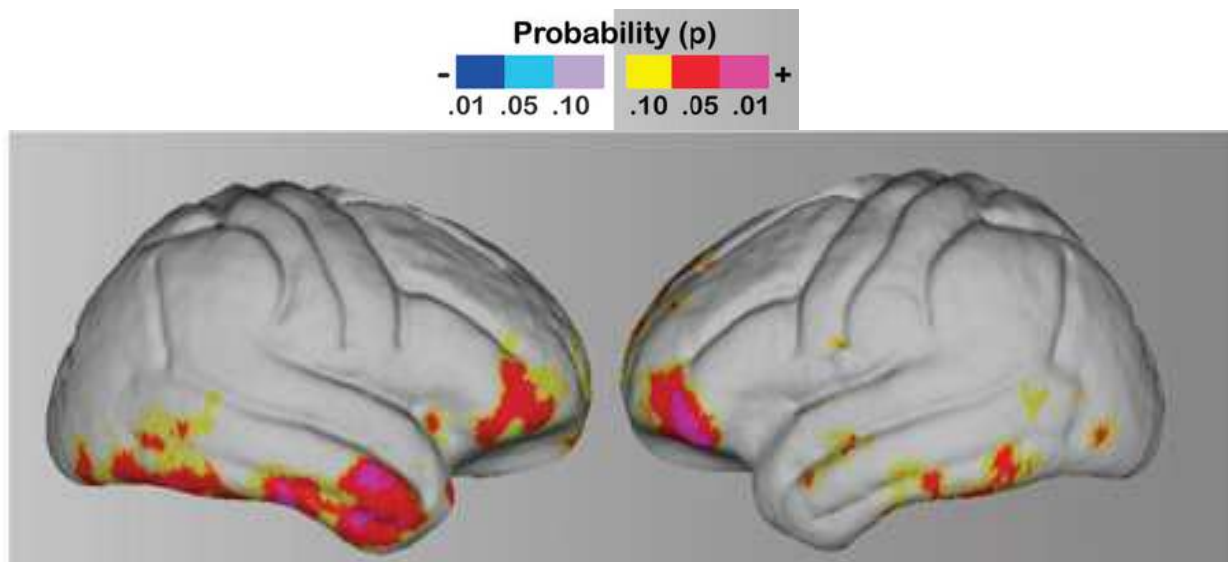


Abb. 19: Korrelation zwischen kortikaler Dicke und IQ, aus Narr et al. (2006)

Die zusätzlichen Vergleiche mit den verschiedenen volumetrischen Studien ergänzen die Befunde aus den funktionellen Studien. Dies deutet auf das Vorhandensein von unterschiedlicher Hirnfunktionalität hin, die sogar beim Beobachten einer bewegten Punktwolke mit Intelligenz in Beziehung zu stehen scheint.

Forscher wie Haier et al. (2003) oder Newman & Just (2005) bestreiten nicht, dass einzelne Hirnregionen wie beispielsweise die präfrontalen Areale eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Intelligenz spielen, aber betonen stattdessen, dass sich die biologische Grundlage der Intelligenz über den Frontallappen hinaus erstreckt.

Intelligenz sei keiner speziellen Hirnregion zuzuordnen, sondern vielmehr von einer verteilten, dynamisch konfigurierten Gruppe von Arealen abhängig.

Dies wird durch das bereits erwähnte Review von Jung & Haier (2007) bekräftigt, die über einen beachtlichen Konsens berichteten und daher die Hypothese aufstellten, dass „die Variationen in einem verteilten Netzwerk, charakterisiert durch Interaktionen zwischen zahlreichen Hirnregionen, die individuellen Intelligenzunterschiede vorbestimmen“ würden. In ihrem sogenannten P-FIT-Modell (Parieto-Frontal Integration Theory) werden zahlreiche Areale erwähnt, die für die Intelligenz entscheidend seien und auch in der vorliegenden Studie bei Personen mit höherem IQ stärker aktiviert wurden: BA 9, 10 und 32 frontal, BA 40 und 7 parietal und BA 37 und 19 temporo-okzipital. Die folgende Abbildung präsentiert einen Überblick ihres Modells:

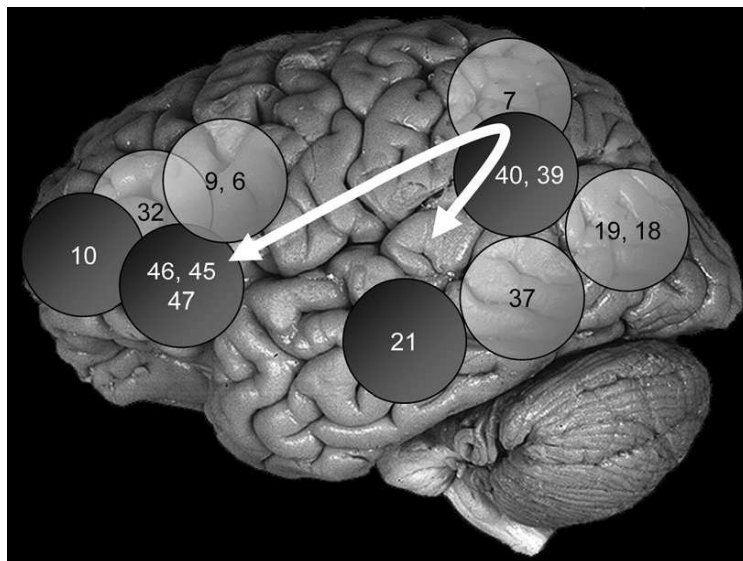


Abb. 20: Brodmann-Areale, welche mit besseren Intelligenzleistungen assoziiert sind, und dem P-FIT-Modell zugrunde liegen, aus Jung & Haier (2007).  
Zahlen = BAs; dunkle Kreise = vorwiegend linke Hemisphäre;  
helle Kreise = vorwiegend bilateral; weißer Pfeil = Fasciculus arcuatus

Zusammenfassend lässt sich an dieser Stelle sagen, dass in der vorliegenden Arbeit direkte und positive Korrelationen zwischen Hirnaktivitäten und bestimmten Hirnarealen auftraten, welche mit Sicherheit an einer Vielzahl von kognitiven Aufgaben und in hohem Maß an der menschlichen Intelligenz beteiligt sind.

### 5.4.3 Studien mit negativer Korrelation zwischen IQ und Aktivität

Im Gegensatz zu den Studien mit positiven Korrelationen zeigt ein Großteil früherer Untersuchungen, dass ein höherer IQ mit weniger Aktivität einhergeht (Haier et al., 1992; Grabner et al., 2003; Neubauer et al., 2004; Jausovec & Jausovec, 2004; Neubauer & Fink, 2005). Dabei berufen sie sich auf die folgende Effizienzhypothese. Die Effizienz hoch intelligenter Individuen könnte sowohl von dem Nichtgebrauch vieler Hirngebiete, die bedeutungslos zur Erfüllung der Aufgabe sind, als auch von dem fokussierten Nutzen spezifischer aufgabenrelevanter Gebiete herrühren.

Da die Hypothese häufig bestätigt wurde, wurde in dieser Arbeit zusätzlich die Antikorrelation untersucht. Dabei kamen ebenfalls deutliche Aktivitäten zum Vorschein. Die Antikorrelation mit dem vIQ zeigte Aktivierungen linksseitig in den BA 44/45 und 11. Beim hIQ stellten sie sich verstreut dar mit Maxima im BA 4 rechts und BA 11 links. Dies bedeutet, dass bei Probanden mit niedrigem IQ diese Gebiete beim Beobachten des Punktemusters stärker aktiviert wurden, bzw. umgekehrt, von Intelligenteren weniger benötigt wurden.

Allerdings scheint die Effizienztheorie nicht allgemeingültig zu sein. Einige Forscher waren der Meinung, dass sie nur bei neuartigen Aufgaben (Haier et al., 1992; Grabner et al., 2003) oder nach längerem Üben (Neubauer et al., 2004) gilt.

In einer Gruppe von erfahrenen Taxifahrern verglichen Grabner et al. die kortikale Aktivität einer bekannten, aber durchaus komplexen Aufgabe, mit der einer neuen, intelligenzbezogenen unter EEG-Messungen. Zunächst bestätigte sich die Effizienztheorie: Personen mit höherem IQ zeigten in der neuen Aufgabe fokussierte und insgesamt weniger verteilte Aktivierungen übers Gehirn als diejenigen mit niedrigem IQ. Bei der bekannten Aufgabe unterschieden sich die beiden Untergruppen allerdings hinsichtlich ihrer Aktivierungen kaum. Das Ergebnis deutet an, dass Langzeiterfahrung eine niedrigere intellektuelle Fähigkeit kompensieren könnte, zumindest auf dem Niveau der kortikalen Aktivität.

Wenn man sich vorstellt, dass solch eine alltägliche Handlung, wie das Wahrnehmen von biologischer Bewegung, durch Langzeiterfahrung geprägt ist, dürften sich keine



signifikanten Ergebnisse in der negativen Korrelation zeigen. Es muss somit eine andere Erklärung dafür geben.

Die Probanden von Neubauer et al. (2004) unterzogen sich im Rahmen eines „Lerntestkonzeptes“ einer Untersuchung der Topographie und kortikaler Aktivität mittels ERD (event-related desynchronization; eine Messung im EEG). Das Konzept beruhte auf einem „Vortest - Training - Nachtest“ - Design. Validitätsstudien bestätigten, dass diese Methode ein besserer Indikator für die intellektuelle Fähigkeit ist. Die erwartete negative Korrelation zwischen Intelligenz und Aktivität wurde allerdings nur beim Nachtest im Frontallappen entdeckt. Außerdem zeigte sich: je größer der IQ, desto stärker die Abnahme der Menge an kortikaler Aktivität vom Vor- zum Nachtest. Neubauer et al. vermuteten daher, dass das Phänomen der neuronalen Effizienz erst auftritt, sobald die Probanden mit der Aufgabenanforderung vertraut sind, um dann die Aufgabe so schnell und effizient, wie es ihr Intelligenzniveau ermöglicht, lösen zu können.

Unter der Annahme, dass jeder in unserer Gesellschaft biologischen Bewegungen gleich ausgesetzt ist bzw. alle dieselbe „Übung“ erfahren und die Aufgabenstellung in der vorliegenden Arbeit als eine Art „Nachtest“ unter erschwerten Bedingungen (Punktwolke statt ganze Figur) angesehen werden kann, könnte dies die signifikanten negativen Korrelationen zwischen den übers Gehirn verteilten Aktivitäten und den IQ-Werten erklären.

Lässt sich nun auch das Auftreten der verteilten Aktivitäten deuten, wie zuvor bei der positiven Korrelation? Keiner der Teilnehmer bewegte sich während den fMRT-Messungen, was zu Aktivierungen im Gyrus praecentralis geführt hätte. Reines Beobachten biologischer Bewegung kann auch nicht als Erklärung für Aktivierungen im BA 4 dienen (Grafton et al., 1996; Buccino et al., 2001). Daher eignet sich an dieser Stelle die Betrachtung von Studien, die sich mit der Vorstellung von Bewegungsabläufen beschäftigten. Eine davon stammt von Ehrsson et al. (2003). Sie konzentrierten sich auf den primär-motorischen Kortex und dessen somatotopische Gliederung. Ihre Probanden wurden gebeten sich vorzustellen, sie würden einfache wiederholende Bewegungen mit

ihren Fingern, Zehen oder Zunge durchführen. Bei allen drei Körperteilen traten kontralaterale Aktivierungen im BA 4 auf.

Binkofski et al. (2000) war hingegen die Betrachtung der Broca-Region, das motorische Sprachzentrum, von großer Wichtigkeit. Diese scheint nämlich nicht nur für die Spracherzeugung entscheidend zu sein, sondern eher eine allgemeine Rolle bei der Bewegungskontrolle zu spielen. Tatsächlich fanden sie im Areal 44 der Brocaregion Aktivierungen, während sich die Probanden abstrakte Fingerbewegungen vorstellten. An dieser Stelle sei kurz erwähnt, dass das BA 44 der Broca-Region möglicherweise dem Areal im inferioren prämotorischen Kortex des Makak-Affen entspricht, dessen Neurone beobachtete Bewegungsinformation mit ausgeführten Bewegungen vergleichen (Binkofski et al., 2000).

Bei den Teilnehmern von Grafton et al. (1996) kamen sowohl im linken BA 44 als auch in beiden BA 4 vermehrt Hirnaktivitäten vor, während sie sich vorstellten, mit einer Hand nach dem präsentierten Gegenstand zu greifen.

Somit bestätigen verschiedene Studien, dass auch in Abwesenheit einer durchgeführten Bewegung motorische Repräsentationen durch Hirnaktivitäten eingeübt sind. Man könnte daher vermuten, dass Personen mit niedrigerem IQ sich zunächst die Bewegung des vor ihnen erscheinenden Walkers vorstellen müssen, um diese dann weiter zu verarbeiten, wobei die BA 4 und 44 aktiviert werden. Der Effizienztheorie zufolge würde dies bedeuten, dass Intelligenterer weniger auf diese Hirngebiete angewiesen wären, um den Walker zu erkennen.

Ein weiteres Areal, welches aus dem bunten Bild der negativen Korrelationen hervorgeht, ist das BA 11. Die Rolle des BA 11 als Teil des orbitofrontalen Kortex (OFC) ist schwer zu definieren, denn seine Funktion beruht vor allem auf den Verbindungen mit anderen zerebralen Strukturen. Fuster (2001) nimmt an, dass keine der kognitiven Funktionen des OFC verstanden werden könnte, wenn man es von seinen Verbindungen getrennt betrachtet. Der OFC ist an der Emotions- und Impulskontrolle, Aufmerksamkeit, Verarbeitung von Umweltinformationen und sozialer Anpassung beteiligt. Nach der Wahrnehmungsverarbeitung im STS erfolgt möglicherweise die darauffolgende Analyse sozial relevanter Stimuli im OFC (Allison et al., 2000).



Der OFC ist in der vorliegenden Arbeit zwar an der Verarbeitung der Punktwolke beteiligt, es scheint jedoch ein Areal zu sein, welches von intelligenteren Personen in dieser Situation weniger benötigt wird und bekräftigt die Effizienztheorie.

#### **5.4.4 Studien mit unterschiedlichen Strategien**

In der vorliegenden Studie zeigten sich jedoch nicht ausschließlich positive bzw. negative Korrelationen. Vielmehr waren beide koexistent. Dies könnte bedeuten, dass beim Beobachten der Punktwolke unterschiedliche Strategien benutzt worden waren. Während bei Probanden mit hohem IQ bestimmte Areale verstärkt aktiviert wurden (vor allem in BA 9, 10, 32/24, 7, 40, 21 und 37/19; s. Abb. 12, 13 & 14 auf S. 40/41), rekrutierten weniger intelligente Probanden vermehrt andere Areale (vor allem in BA 44/45, 11 und 4; s. Abb. 15 & 16 auf S. 42).

Unter den funktionellen Intelligenzstudien finden sich auch solche, welche auf die Möglichkeit der unterschiedlichen Strategien hinweisen, um die Varianz hinsichtlich der Intelligenz zu erklären (Gevins & Smith, 2000; Cabeza et al., 2002; Jausovec & Jausovec, 2004; Rypma et al., 2006; Lee et al., 2006). Dabei sind sie sich in der entscheidenden Strategie nicht einig, was unter anderem auf die verschiedenen Methoden und Aufgabenstellungen zurückgeführt werden kann, welche, wie bereits erläutert, die Vergleichsproblematik bei funktionellen Studien darstellt.

Beim Lösen von Lernaufgaben unter EEG-Messungen zeigten intelligentere Personen in der Studie von Jausovec & Jausovec (2004) mehr Aktivierungen in parieto-okzipitalen Regionen, wohingegen Personen mit niedrigerem IQ vorwiegend in frontalen Regionen Aktivierungen aufwiesen. Das gleiche Ergebnis lieferten bereits Gevins & Smith (2000) mittels einer räumlichen Gedächtnisaufgabe. Beide Studien folgerten, intelligentere Personen hätten bei der Informationsverarbeitung Strategien entwickelt und dafür die parietalen Regionen relativ gesehen stärker genutzt. Die Probanden mit niedrigerem IQ seien mehr auf die frontalen Regionen angewiesen gewesen.

Dass die stärkere Beteiligung der parietalen Hirnareale den interindividuellen Unterschied hinsichtlich der Intelligenz ausmachen könnte, vermuteten auch Lee et al. (2006). Die Analyse der einzelnen Areale in ihrer fMRT-Studie, die sich speziell auf Hochintelligente konzentrierte, ergab, dass höhere Intelligenz nicht nur durch die Rekrutierung verteilter zusätzlicher Hirnareale zustande komme, sondern außerdem durch die Bahnung des fronto-parietalen Netzwerkes, welche vorwiegend mittels einer posterioren parietalen Aktivierung (BA 7 links und 7/40 rechts) angetrieben werde. Die größere Beteiligung parietaler Hirnareale könnte auf eine adäquatere Strategie hinweisen, welche intelligentere Personen möglicherweise auch während des Betrachtens einer Punktwolke benutzen.

Im Gegensatz zu den bisher erwähnten Studien, die sich hinsichtlich der Rolle des parietalen Kortex einig waren, gibt es mehrere Nachforschungen, die ein unterschiedliches Muster an Hirnaktivierungen präsentieren.

Cabeza et al. (2002) zeigten in einer PET-Studie mit älteren Probanden (Alter: 63 - 78 Jahre), dass intelligentere Personen homologe kontralaterale, präfrontale Regionen hinzuzogen, welche vermutlich durch plastische Reorganisation des neurokognitiven Netzwerks entstanden waren, um dem altersbedingten neuronalen Verfall entgegenzuwirken.

In einer Studie mit Kindern und Jugendlichen (Alter: 5 - 18 Jahre) traten bei den fMRT-Messungen neben den verstreuten Aktivierungen, die positiv mit den IQ-Werten korrelierten, bei den Jungen zusätzlich Areale (BA 46 und 21/22) mit negativer Korrelation auf (Schmithorst & Holland, 2006). Schmithorst & Holland gingen davon aus, dass alle aktivierten Hirnregionen mit Intelligenz assoziiert seien, letztere jedoch während der Lösung der Aufgaben effizienter von Intelligenten genutzt würden. Die Hypothese könnte ebenso für die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit gelten.

Wie stark diese Verarbeitungsmuster, aus denen sowohl positive als auch negative Korrelationen hervorgehen, ferner von den gestellten Aufgaben abhängen können, demonstrierten Perfetti et al. (2009). Bei der moderaten Aufgabe waren die meisten Hirnaktivitäten der Gruppe mit höherem IQ in supplementär-motorischen und präfrontalen Arealen entsprechend der Effizienztheorie von geringerer Intensität als die

der anderen Probanden. Mit Zunahme der Stimuluskomplexität wurden jedoch die Aktivierungen bei den Intelligenteren in diesen Arealen verstärkt, während sie an anderen Stellen in der Gruppe mit niedrigerem IQ in präfrontalen und posterioren parietalen Arealen abnahmen. Die Fähigkeit Strategien zu wechseln und dynamisch das kortikale Aktivitätsmuster entsprechend einer bestimmten Aufgabe zu verändern, sei es durch verstärkte Aktivierung oder Hinzuziehen von zusätzlichen Regionen, könnte zu individuellen kognitiven Unterschieden beitragen (Newman & Just, 2005).

Perfetti et al. (2009) machten allerdings in ihrer Studie eine für die vorliegende Arbeit durchaus interessantere Beobachtung. Trotz der signifikanten Variabilität der IQ-Werte zwischen beiden Gruppen fanden sich keine klaren Leistungsunterschiede bei den IQ-Aufgaben, die während den fMRT-Messungen gestellt wurden. Die Messungen wiesen jedoch verschiedenartige Hirnaktivierungen auf, d.h. obwohl beide Gruppen fähig waren, die Aufgaben ähnlich erfolgreich zu lösen, lag dem Lösen der Aufgaben ein anderer Verarbeitungsprozess zu Grunde. Die Aktivitätsmuster, so Perfetti et al., reflektierten beachtliche Unterschiede bezüglich der Problemlösungsstrategien.

Eine ähnliche Entdeckung machten O'Boyle et al. (2005) bei zwei Gruppen, die sich hinsichtlich ihres IQs und ihrer mathematischen Begabung unterschieden. Obwohl beide Gruppen bei einer „mental Rotationsaufgabe“ im fMRT dieselbe Fehlerfreiheit zeigten, kamen unterschiedliche Aktivierungen zum Vorschein. Sie waren der Ansicht, das einzigartige Aktivitätsmuster der Höherbegabten sei nicht nur eine Frage der Biologie, sondern auch durch den Einfluss einer verbesserten Lernumgebung geprägt worden.

In beiden Studien konnten die Teilnehmer ihre Aufgaben fast gleichermaßen bewältigen, ähnlich der Gegebenheit, dass alle Probanden in der vorliegenden Studie den Walker aus der Punktwolke heraus erkennen konnten. Es war daher nicht möglich die unterschiedlichen Aktivitätsprofile der Gruppen verschiedenen Leistungen im fMRT zuzuschreiben, sondern eher die Verwendung unterschiedlicher Strategien, die mit den ermittelten IQ-Werten im Zusammenhang stehen. Im Gegensatz zu den eben erwähnten Studien wurde in der vorliegenden allerdings keine Denkaufgabe durchgeführt, sondern nur das Beobachten gefordert. Daher stehen die hier dargestellten Ergebnisse am stärksten mit der Studie von Haier et al. (2003) in Einklang,

dessen Probanden Videos anschauten (ausführlichere Beschreibung auf S. 62/63). Personen mit höherem IQ verarbeiten Informationen demzufolge anders, auch wenn keine Denkaufgabe gefordert wird. Es scheint als aktivierten hoch- und niedrig-intelligente Individuen während der Informationsverarbeitung vorzugsweise andere neuronale Schaltkreise.

Die ermittelten Korrelationen in der vorliegenden Arbeit lassen sich somit auf zwei verschiedene Weisen interpretieren. Einerseits könnten die unterschiedlichen Aktivierungsmuster bedeuten, dass das individuelle Intelligenzniveau die Strategie beeinflusst, welche beim Lösen bestimmter Aufgaben oder sogar beim Beobachten der Punktemuster verwendet wird. Andererseits könnte der Grad oder die Effizienz des Informationsflusses zwischen den Regionen zu individuellen Unterschieden bezüglich der Leistungsfähigkeit beitragen, die sich in den IQ-Werten widerspiegeln.

Mit der Kombination neuer bildgebender Verfahren und Berechnungsmethoden wird es zunehmend möglich sein, sich mit neu aufkommenden, zentralen Fragen zu befassen, welche die neuronale Grundlage der Intelligenz betreffen. Eine Möglichkeit wäre z.B. die Kombination von EEG/MEG und MRT bzw. fMRT (Liu et al., 2006). Sowohl die Entdeckungen der vorliegenden Studie als auch die von Haier et al. (2003) bekräftigen zumindest die Ansicht, dass zukünftige Studien beachten sollten, dass individuelle Intelligenzunterschiede regionale, bildgebende Ergebnisse während jeglicher Art von Kognition beeinflussen können.

### **5.5 *Beziehung zwischen den Hirnaktivitäten und der Reaktionsgeschwindigkeit***

Ausgehend von den in der vorliegenden Arbeit gefundenen Erkenntnissen ließe sich folgern, dass es an den unterschiedlichen Strategien liegt, dass weniger intelligente Probanden einen längeren Verarbeitungsprozess in der RT-Aufgabe zu bewältigen haben und dieser dann zu den längeren RTs beiträgt.

Um die neuronale Basis von individuellen Leistungsunterschieden zu erforschen, ließen Rypma et al. (2006) ihre Probanden eine komplexe RT-Aufgabe im fMRT machen. Während die schnelleren Probanden weniger Aktivitäten in einigen präfrontalen Regionen zeigten als die Langsameren, traten bei letzteren stärkere Aktivierungen in parietalen Regionen auf. Unter der Annahme, dass auch hier eine schnellere RT mit höherer Intelligenz assoziiert ist, passen die Ergebnisse gut zu einigen zuvor erwähnten Studien (Gevins & Smith, 2000; Jausovec & Jausovec, 2004; Lee et al., 2006) und könnten somit die oben genannte Vermutung bestätigen, dass auch bei RT-Aufgaben unterschiedliche Strategien angewandt werden und die Effizienz der Interaktionen zwischen den Hirnregionen die individuellen Leistungsunterschiede mitbestimmen.

Ohne auf konkrete Schaltkreise hinzudeuten, vermuten Forscher, dass die RT-Unterschiede auch andersartigen neuronalen Verbindungen zugeschrieben werden könnten (Anderson & Donaldson, 1995; Garlick, 2002). Anderson & Donaldson bestätigten die Beziehung zwischen IQ und RT in einer Simulationsstudie, in welcher die Unterschiede hinsichtlich des Vernetzungsgrades und der Anzahl an Verbindungen die beobachteten RTs bedingen könnte. Garlick (2002) nahm an, dass das „feinabgestimmte“ Netzwerk in „intelligenteren Gehirnen“ aus stärkeren und geeigneteren Verbindungen bestehen könnte, und diese daher schneller z.B. RT-Aufgaben verarbeiten könnten. Das neurobiologische Substrat der funktionellen und effektiven Konnektivität und somit die genaue biologische Grundlage für eine schnellere RT bleiben somit weiterhin ungewiss (Reed & Jensen, 1993; Neubauer & Fink, 2005; Newman & Just, 2005).

## **5.6 Mögliche Bedeutung der unterschiedlichen Aktivitätsmuster**

Was bedeutet nun die Entdeckung, dass Menschen mit einem höheren IQ bereits beim Beobachten ihrer Umwelt -in der vorliegenden Studie reduziert auf einen Walker- ein Aktivitätsmuster zeigen, welches sich von den Aktivierungen einer weniger intelligenten Person unterscheidet?

Die fortschreitende Gestaltung der Hirnstruktur erfolgt hauptsächlich im Kindesalter (Wilke et al., 2003; Shaw et al., 2006). Für die Entwicklung spielen die Gene eine wichtige Rolle. Einerseits bestimmen sie große Teile des Hirnvolumens (Baaré et al., 2001; Thompson et al., 2001), andererseits den IQ, vermutlich jeweils bis zu 80% (Toga & Thompson, 2005). Hinzu kommt nun die Vermutung, dass die Gene ebenfalls das individuelle Potential der Plastizität festlegen (Toga & Thompson, 2005). Shaw et al. (2006) konnten in ihrer Studie mittels kortikaler Dickemessung tatsächlich zeigen, dass intelligentere Kinder einen plastischeren Kortex über die Jahre hinweg aufwiesen. Dabei kamen die prominentesten kortikalen Veränderungen präfrontal vor, was mit anderen Studien übereinstimmt, die auf die Wichtigkeit des präfrontalen Kortex hinsichtlich der Variabilität der Intelligenz hinweisen (Duncan et al., 2000; Gray et al., 2003; Wilke et al., 2003; Lee et al., 2006).

Die wiederholte verstärkte Nutzung, und somit Aktivierung, einer bestimmten Struktur kann in der Tat zu einer morphologischen Veränderung in diesen Arealen führen (Paus, 2005). Diesen Vorgang bezeichnet man als Plastizität.

Plastizität ist eine intrinsische Eigenschaft des menschlichen Gehirns und stellt eine Möglichkeit für das Nervensystem dar, den Begrenzungen des eigenen Genoms zu entkommen und sich dadurch Umweltbelastungen, physiologischen Veränderungen und Erfahrungen anzupassen. Plastische Veränderungen mit einer Zunahme an GM können durch Training und Aktivierung induziert werden, welche beispielsweise nach intensivem Lernen über 3 Monate (Draganski et al., 2006) oder nach nur 5 Tagen unter repetitiver transkranieller Magnetstimulation (May et al., 2007) nachgewiesen wurden. Die strukturellen Veränderungen traten allerdings nicht nur in Arealen auf, die funktionell in

direktem Bezug zu der Aufgabe standen, sondern zusätzlich in parietalen und temporalen Assoziationsarealen. Ebenso demonstrierten mehrere Forscher, dass sich nach Üben einer bestimmten Aufgabe die Hirnaktivitäten veränderten (Petersen et al., 1998; Grossman et al., 2004; Ilg et al., 2008). Traten diese Veränderungen über Wochen hinweg auf, wurde dies auf die Folgen kortikaler Plastizität zurückgeführt. Man hat jedoch noch nicht herausgefunden, was die zelluläre Ursache der GM-Vergrößerung ist. Umstritten ist außerdem, ab wann sich eine morphologische Veränderung funktionell bemerkbar macht (Siebner & Rothwell, 2003). Die erwähnten Studien belegen zunächst einmal, dass sich im Erwachsenenalter das Gehirn noch plastisch verändern kann. Warum bleibt dann der IQ ab einem Alter von ungefähr 16 Jahren über viele Jahrzehnte stabil? Es dürfte demnach in den Hirnarealen, die für die Varianz der Intelligenz entscheidend sind, keine plastischen Veränderungen mehr geben, welche den IQ beeinflussen könnten (Garlick, 2002). Garlick machte folgende Überlegungen: Möglicherweise beruhe die Entwicklung der Intelligenz in der Kindheit auf einem längerfristigen Prozess, wobei das Gehirn schrittweise seine Verbindungen umgestalte. Nachdem das endgültige Muster der neuronalen Organisation geformt sei, könnte sich das Gehirn zwar noch plastisch verändern, wahrscheinlich würde dies aber nur mit einer gewissen Modifikation der bestehenden Verbindungen einhergehen und sich daher nicht mehr auf den IQ auswirken.

Wodurch könnten nun jene unterschiedlichen Aktivitätsmuster entstanden sein, wie sie in der vorliegenden Studie gefunden wurden? Wie bereits erwähnt, bestimmen größtenteils die Gene sowohl die Hirnvolumina als auch den IQ. Andererseits beobachtete man in der Gesellschaft einen enormen IQ-Anstieg zwischen den Generationen, welcher so groß ist, dass man kaum den Einfluss der Umwelt unterschätzen darf (siehe in 5.1 „Flynn-Effekt“, S. 44/45). Dieses Paradoxon versuchten bereits verschiedene Forscher zu lösen, die der Umwelt, welche den individuellen IQ im Kindesalter mitgestaltet, eine gewaltige Rolle zusprechen (Dickens & Flynn, 2001; Garlick, 2002). Die Plastizität bietet in diesem Fall einen möglichen Erklärungsansatz: Intelligentere Kinder könnten geistig anspruchsvolle Aktivitäten aufsuchen und dabei ihre neuronalen Schaltkreise besser an komplexe Umweltstimuli anpassen, welche ihre

intellektuelle Fähigkeit fördern und ihr GM-Volumen zusätzlich vergrößern würde (Garlick, 2002; Toga & Thompson, 2005).

Die Feststellung in der vorliegenden Arbeit, dass bei intelligenteren Personen bereits beim Betrachten ihrer Umwelt bestimmte Areale verstärkt rekrutiert und Umweltstimuli wie der Walker anders verarbeitet werden, könnte somit bedeuten, dass diese Personen schon im Kindesalter ihr soziales Umfeld auf eine andere Weise wahrgenommen und mit stärkeren bzw. veränderten Aktivitätsmustern reagiert haben, die unter anderem zur Entwicklung bestimmter Strategien beigetragen haben.

Dabei wurde bewusst das Wort „verändert“ verwendet, da entdeckt wurde, dass Training mit verbesserter Performance nicht nur zu einer Zunahme an Aktivität führt, sondern auch zu einer Abnahme, welche eine verstärkte neuronale Effizienz repräsentieren würde (Erickson et al., 2007; Ilg et al., 2008). Außerdem zeigten Volumenstudien, dass im Kindes- und Jugendalter das Gehirn nicht nur an einzelnen Arealen an Dicke bzw. Volumen zunimmt, sondern ebenso verringert wird (Sowell et al., 2004; Shaw et al., 2006).

Grossman et al. (2004) konnten demonstrieren, dass nach einer Übungsaufgabe mit einer komplexen Variante der biologischen Bewegung die Stärke der Aktivitätszunahme in bestimmten Hirnarealen mit dem Grad der Leistungsverbesserung korrelierte. Personen, die die abgewandelte biologische Bewegung am besten erkennen konnten, zeigten während des Beobachtens die stärksten Aktivierungen, in diesem Fall im STS und BA 37. Das Erkennen der biologischen Bewegung ist somit durchaus eine gültige Aufgabe, um nicht nur individuelle Leistungsunterschiede hervorzuheben, sondern auch um auf ein IQ-abhängiges Verarbeitungsmuster hin zu deuten, welches möglicherweise auf die Gestaltung der Hirnstruktur im Kindesalter zurückzuführen ist.



## **5.7 Zusammenfassung & Schlussfolgerungen**

Das Erkennen des Walkers ist ein kognitiver Prozess. Früher konnte man solche Prozesse nur mittels messbarer Daten erfassen, wie z.B. in einer RT-Aufgabe. Als Hypothese für die versteckte Reaktion konnte man annehmen, dass im Gehirn dafür unterschiedliche Strategien benutzt worden waren. Heute ist es allerdings möglich, jene versteckte Reaktion sichtbar zu machen, beispielsweise mit fMRT-Messungen.

Kurz zusammengefasst wurden bei Personen mit höherem IQ beim Beobachten der Punktwolke neben den präfrontalen Arealen BA 9 und 10, welche für verschiedenste kognitive Funktionen wie Wahrnehmungskontrolle, Planen, Problemlösung und Schlussfolgern entscheidend sind, auch die parietalen Areale BA 40 und 7 verstärkt aktiviert, die beispielsweise an der Verarbeitung visuell präsentierter, quasi-räumlicher Probleme mitwirken. Ebenso trat das kortikale Assoziationsareal um BA 37/19 hervor, welches an der Analyse visueller Formen oder Bewegungen, an der Objektrepräsentation oder Objekterkennung und an der Sprachintegration beteiligt ist. Aktivierung im anterioren Cingulum in den BA 32 und 24 spielt nicht nur bei zahlreichen komplexen Prozessen eine wichtige Rolle, sondern auch im Zusammenhang mit der Intelligenz. Das BA 22, das unter anderem an der Analyse und Verarbeitung von biologischer Bewegung involviert ist, wurde ebenfalls bei den intelligenteren Probanden stärker aktiviert.

Hingegen traten bei den weniger intelligenten Probanden zusätzliche Aktivierungen in Arealen hervor, welche sich beim Vorstellen von verschiedenen Bewegungen finden lassen: In den Arealen BA 44 und 4. Das BA 11 im OFC war ebenfalls an der Verarbeitung der Punktwolke beteiligt und bestätigt hier die Effizienztheorie.

Diese kollektiven Befunde erbringen den Nachweis für ein IQ-abhängiges neuronales Netzwerk, welches an der Verarbeitung einer bewegten Punktwolke, die einen gehenden Menschen darstellt, beteiligt ist. Den Ergebnissen zu Folge beruht die Variabilität der Intelligenz weder auf einem bestimmten Areal, noch auf einer allgemeinen Über- oder Unteraktivierung, sondern auf das gleichzeitige Auftreten verschiedener Aktivierungszustände, wobei die unterschiedlichen Strategien zwar bei

gesunden Personen zum gleichen Endergebnis, dem eindeutigen Erkennen des Walkers führen, sich aber in ihrer Effektivität und Geschwindigkeit unterscheiden. Messungen von Hirnaktivitäten könnten somit genutzt werden, um weniger intelligenten Menschen von denen mit höherer Intelligenz unterscheiden, auch wenn sie dabei nicht auf kognitiver Ebene herausgefordert werden.

Wie wichtig die Fähigkeit ist, relevante Signale schnell und korrekt aus den Bewegungen seines Gegenübers zu gewinnen, soll als letzter Punkt kurz beleuchtet werden. Menschen sind eine höchst soziale Spezies. Unser Überleben und Gelingen hängen entscheidend von unserer Fähigkeit ab, biologische Bewegungen von anderen Arten von Bewegungen in der natürlichen Umgebung herauszusuchen zu können und in komplexen sozialen Situationen erfolgreich zu handeln (Gallese et al., 2004). Bewegungserkennung erlaubt uns nicht nur das Verhalten und die Absichten anderer zu interpretieren und die Konsequenzen vorauszusehen, sondern auch die Aktionen anderer zu verarbeiten, zu bewerten und dann auf unsere unmittelbare Umgebung angemessen zu reagieren.

Abschließend möchte ich jedoch noch einen wesentlichen Gesichtspunkt hervorheben und Volkmar Weiss zitieren: „Wir dürfen nicht vergessen, dass Intelligenz nur ein Aspekt der Persönlichkeit ist. Kreativität, Emotionalität und Motivation sind z.B. Größen, die von der Intelligenz unabhängig sind, aber in der menschlichen Gesellschaft ebenso wichtig.“

## 6 Verzeichnisse

### 6.1 *Literaturverzeichnis*

1. Ackerman PL, Cianciolo AT (2002) Ability and Task Constraint Determinants of Complex Task Performance. *Journal of Experimental Psychology* 8: 194-208
2. Allison T, Puce A, McCarthy G (2000) Social Perception from Visual Cues: Role of the STS Region. *TRENDS in Cognitive Sciences* 4: 267-278
3. Anderson B, Donaldson S (1995) The Backpropagation Algorithm: Implications for the Biological Bases of Individual Differences in Intelligence. *Intelligence* 21: 327-345
4. Aster M, Neubauer A, Horn R (2006) Wechsler Intelligenztest für Erwachsene (WIE). Deutschsprachige Bearbeitung und Adaptation der WAIS-III von David Wechsler. Frankfurt/Main: Harcourt Test Services
5. Baaré WFC, Hulshoff Pol HE, Boomsma DI, Posthuma D, de Geus EJC, Schnack HG, van Haren NEM, van Oel CJ, Kahn RS (2001) Quantitative Genetic Modeling of Variation in Human Brain Morphology. *Cerebral Cortex* 11: 816-824
6. Barlow H, Tripathy SP (1997) Correspondence Noise and Signal Pooling in the Detection of Coherent Visual Motion. *The Journal of Neuroscience* 17: 7954-7966
7. Bates TC, Eysenck HJ (1993) Intelligence, Inspection Time, Decision Time. *Intelligence* 17: 523-531
8. Bates T, Stough C (1998) Improved Reaction Time Method, Information Processing Speed, and Intelligence. *Intelligence* 26: 53-62

-Verzeichnisse-

9. Beauchamp CM, Stelmack RM (2006) The chronometry of mental ability: An event-related potential analysis of an auditory oddball discrimination task. *Intelligence* 34: 571-586
10. Binkofski F, Amunts K, Stephan KM, Posse S, Schormann T, Freund HJ, Zilles K, Seitz RJ (2000) Broca's Region Suberves Imagery of Motion: A Combined Cytoarchitectonic and fMRI Study. *Human Brain Mapping* 11: 273-285
11. Blake R, Turner LM, Smoski MJ, Pozdol SL, Stone WL (2003) Visual recognition of biological motion is impaired in children with autism. *American Psychological Society* 14: 151-157
12. Bonda E, Petrides M, Ostry D, Evans A (1996) Specific Involvement of Human Parietal Systems and the Amygdala in the Perception of Biological Motion. *The Journal of Neuroscience* 16: 3737-3744
13. Buccino G, Binkofski F, Fink GR, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Seitz RJ, Zilles K, Rizzolatti G, Freund HJ (2001) Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European Journal of Neuroscience* 13: 400-404
14. Büchel C, Price C, Friston K (1998) A multimodal language region in the ventral visual pathway. *Nature* 394: 274-277
15. Cabeza R, Nyberg L (2000) Imaging Cognition II: An Empirical Review of 275 PET and fMRI Studies. *Journal of Cognitive Neuroscience* 12: 1-47
16. Cabeza R, Anderson ND, Locantore JK, McIntosh AR (2002) Aging Gracefully: Compensatory Brain Activity in High-Performing Older Adults. *NeuroImage* 17: 1394-1402

-Verzeichnisse-

17. Casile A, Giese MA (2005) Critical features for the recognition of biological motion. *Journal of Vision* 5: 348-360
18. Cavanna AE, Trimble MR (2006) The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. *Brain* 129: 564-583
19. Ceci SJ, Williams WM (1997) Schooling, Intelligence, and Income. *American Psychologist* 52: 1051-1058
20. Chen Y, Bedell HE, Frishman LJ, Levi DM (1998) Stimulus uncertainty affects velocity discrimination [Abstract]. *Vision Res.*
21. Colom R, Jung RE, Haier RJ (2006) Distributed brain sites for the g-factor of intelligence. *NeuroImage* 31: 1359-1365
22. Cutting JE, Kozlowski LT (1977) Recognizing friends by their walk: Gait perception without familiarity cues. *Bulletin of the Psychonomic Society* 9: 353-356
23. Deary IJ, Caryl PG (1997) Neuroscience and human intelligence differences. *Neuroscience and Intelligence* 20: 365-371
24. Deary IJ, Der G, Ford G (2001) Reaction times and intelligence differences. A population-based cohort study. *Intelligence* 29: 389-399
25. Der G, Deary IJ (2003) IQ, reaction time and the differentiation hypothesis. *Intelligence* 31: 491-503
26. Diascro MN, Brody N (1994) Odd-Man-Out and Intelligence. *Intelligence* 19: 79-92

-Verzeichnisse-

27. Dickens WT, Flynn JR (2001) Heritability Estimates Versus Large Environmental Effects: The IQ Paradox Resolved. *Psychological Review* 108: 346-369
28. Draganski B, Gaser C, Kempermann G, Kuhn G, Winkler J, Büchel C, May A (2006) Temporal and Spatial Dynamics of Brain Structure Changes during Extensive Learning. *The Journal of Neuroscience* 26: 6314-6317
29. Duncan J, Seitz RJ, Kolodny J, Bor D, Herzog H, Ahmed A, Newell FN, Emslie H (2000) A Neural Basis for General Intelligence. *Science* 289: 457-460
30. Egan V (1994) Intelligence, inspection time and cognitive strategies. *British Journal of Psychology* 85: 305-15
31. Ehrsson HH, Geyer S, Naito E (2003) Imagery of Voluntary Movement of Fingers, Toes, and Tongue Activates Corresponding Body-Part-Specific Motor Representations. *Journal of Neurophysiology* 90: 3304-3316
32. Erickson KI, Colcombe SJ, Wadhwa R, Bherer L, Peterson MS, Scalf PE, Kim JS, Alvarado M, Kramer AF (2007) Training-Induced Functional Activation Changes in Dual-Task Processing: An fMRI Study. *Cerebral Cortex* 17: 192-204
33. Faillenot I, Toni I, Decety J, Grégoire MC, Jeannerod M (1997) Visual Pathways for Object Oriented Action and Object Recognition: Functional Anatomy with PET. *Cerebral Cortex* 7: 77-85
34. Fox R, McDaniel C (1982) The perception of biological motion by human infants. *Science* 218: 486-487
35. Frangou S, Chitins X, Williams SCR (2004) Mapping IQ and gray matter density in healthy young people. *NeuroImage* 23: 800-805

-Verzeichnisse-

36. Freitag CM Freitag, Konrad C, Häberlen M, Kleser C, von Gontard A, Reith W, Troje NF, Krick C (2008) Perception of biological motion in autism spectrum disorders. *Neuropsychologia* 46: 1480-1494
37. Fuster JM (2001) The Prefrontal Cortex - An Update: Time Is of the Essence. *Neuron* 30: 319-333
38. Gallese V, Keysers C, Rizzolatti G (2004) A Unifying View of the Basis of Social Cognition. *TRENDS in Cognitive Sciences* 8: 396-403
39. Garlick D (2002) Understanding the Nature of the General Factor of Intelligence: The Role of Individual Differences in Neural Plasticity as an Explanatory Mechanism. *Psychological Review* 109: 116-136
40. Geake JG, Hansen PC (2005) Neural correlates of intelligence as revealed by fMRI of fluid analogies. *NeuroImage* 26: 555-564
41. Gevins A, Smith ME (2000) Neurophysiological Measures of Working Memory and Individual Differences in Cognitive Ability and Cognitive Style. *Cerebral Cortex* 10: 829-839
42. Gläscher J, Tranel D, Paul LK, Rudrauf D, Rorden C, Hornaday A, Grabowski T, Damasio H, Adolphs R (2009) Lesion mapping of cognitive abilities linked to intelligence. *Neuron* 61, 681-691
43. Gong QY, Sluming V, Mayes A, Keller S, Barrick T, Cezayirli E, Roberts N (2005) Voxel-based morphometry and stereology provide convergent evidence of the importance of medial prefrontal cortex for fluid intelligence in healthy adults. *NeuroImage* 25: 1175-1186

-Verzeichnisse-

44. Gould SJ (1988) Der falsch vermessene Mensch. Suhrkamp Taschenbuch, Frankfurt a.M.
45. Grabner RH, Stern E, Neubauer AC (2003) When intelligence loses its impact: neural efficiency during reasoning in a familiar area. *International Journal of Psychophysiology* 49: 89-98
46. Grafton ST, Arbib MA, Fadiga L, Rizzolatti G (1996) localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. *Experimental Brain Research* 112: 103-111
47. Gray JR, Chabris CF, Braver TS (2003) Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience* 6: 316- 322
48. Grezes J, Fonlupt P, Bertenthal B, Delon-Martin C, Segebarth C, Decety J (2001) Does Perception of Biological Motion Rely on Specific Brain Regions? *NeuroImage* 13: 775-785
49. Grossman E, Donnelly M, Pricec R, Pickens D, Morgan V, Neighbor G, Blake R (2000) Brian areas involved in perception of biological motion. *Journal of Cognitive Neuroscience* 12: 711-720
50. Grossman ED, Blake R (2001) Brain activity evoked by inverted and imagined biological motion. *Vision Research* 41: 1475-1482
51. Grossman ED, Blake R, Kim CY (2004) Learning to See Biological Motion: Brain Activity Parallels Behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience* 16: 1669-1679
52. Haier RJ, Siegel B, Tang C, Abel L, Buchsbaum MS (1992) Intelligence and Changes in Regional Cerebral Glucose Metabolic Rate Following Learning. *Intelligence* 16: 415-426



-Verzeichnisse-

53. Haier RJ, White NS, Alkire MT (2003) Individual differences in general intelligence correlate with brain function during nonreasoning tasks. *Intelligence* 31: 429-441
54. Haier RJ, Jung RE, Yeo RA, Head K, Alkire MT (2004) Structural brain variation and general intelligence. *NeuroImage* 23: 425-433
55. Hansen KT, Heckman JJ, Mullen KJ (2004) The effect of schooling and ability on achievement test scores. *Journal of Econometrics* 121: 39-98
56. Hirai M, Hiraki K (2006) The relative importance of spatial versus temporal structure in the perception of biological motion: An event-related potential study. *Cognition* 99: B15-B29
57. Houlihan M, Stelmack R, Campbell K (1998) Intelligence and the Effects of Perceptual Processing Demands, Task Difficulty and Processing Speed on P300, Reaction Time and Movement Time. *Intelligence* 26: 9-25
58. Hulshoff HE, Schnack HG, Posthuma D, Mandl RCW, Baaré WF, van Oel C, van Haren NE, Collins DL, Evans AC, Amunts K, Bürgel U, Zilles K, de Geus E, Boomsma DI, Kahn RS (2006) Genetic Contributions to Human Brain Morphology and Intelligence. *Journal of Neuroscience* 26: 10235-10242
59. Ilg R, Wohlschläger AM, Gaser C, Liebau Y, Dauner R, Wöller A, Zimmer C, Zihl J, Mühlau M (2008) Gray Matter Increase Induced by Practice Correlates with Task-Specific Activation: A Combined Functional and Morphometric Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience* 16: 4210-4215
60. Jaeggi SM, Buschkuhl M, Jonides J, Perrig WJ (2008) Improving fluid intelligence with training on working memory. *PNAS* 105: 6829-6833

-Verzeichnisse-

61. Jausovec N, Jausovec K (2004) Differences in induced brain activity during the performance of learning and working-memory tasks related to intelligence. *Brain and Cognition* 54: 65-74
62. Jensen AR, Munro E (1979) Reaction Time, Movement Time, and Intelligence. *Intelligence* 3: 121-126
63. Jensen AR (1987) Process Differences and Individual Differences in Some Cognitive Tasks. *Intelligence* 117: 107-136
64. Jensen AR (2004) Mental chronometry and the unification of differential psychology. In R. J. Sternberg & J. E. Pretz (Eds.), *Cognition and intelligence. Identifying the mechanisms of the mind* (pp. 26-50). Cambridge: Cambridge University Press.
65. Johansson (1973) Visual perception of Biological Motion and a Model for its Analysis. *Perception & Psychophysics* 14: 201-211
66. Jung RE, Haier RJ (2007) The Parieto-Frontal Integration Theory (P-FIT) of intelligence: Converging neuroimaging evidence. *Behavioral and Brain Sciences* 30: 135-187
67. Kane MJ, Engle RW (2002) The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review* 9: 637-671
68. Larson GE, Merritt CR, Williams SE (1988) Information Processing and Intelligence: Some Implications of Task Complexity *Intelligence* 12: 131-147

-Verzeichnisse-

69. Lee KH, Choi YY, Gray JR, Cho SH, Chae JH, Lee S, Kima K (2006) Neural correlates of superior intelligence: Stronger recruitment of posterior parietal cortex. *NeuroImage* 29: 578-586
70. Liu Z, Ding L, He B (2006) Integration of EEG/MEG with MRI and fMRI in Functional Neuroimaging. *IEEE Eng Med Biol Mag.* 25: 46–53.
71. Longstreth LE (1984) Jensen's Reaction-Time Investigations of Intelligence: A Critique. *Intelligence* 8, 139-160
72. Luciano M, Wright MJ, Geffen GM, Geffen LB, Smith GA, Martin NG (2004) A Genetic Investigation of the Covariation Among Inspection Time, Choice Reaction Time, and IQ Subtest Scores. *Behavior Genetics* 34: 41-50
73. Luciano M, Posthuma D, Wright MJ, de Geus EJC, Smith GA, Geffen GM, Boomsma DI, Martin NG (2005) Perceptual speed does not cause intelligence, and intelligence does not cause perceptual speed. *Biological Psychology* 70: 1-8
74. Mackintosh NJ, Bennett ES (2002) IT, IQ and perceptual speed. *Personality and Individual Differences* 32: 685-693
75. MacLulich AMJ, Ferguson KJ, Deary IJ, Seckl JR, Starr JM, Wardlaw JM (2002) Intracranial capacity and brain volumes are associated with cognition in healthy elderly men. *Neurology* 59: 169-174
76. May A, Hajak G, Gänßbauer S, Steffens T, Langguth B, Kleinjung T, Eichhammer P (2007) Structural Brain Alterations following 5 Days of Intervention: Dynamic Aspects of Neuroplasticity. *Cerebral Cortex* 17: 205-210
77. McGarry-Roberts PA, Stelmack RM, Campbell KB (1992) Intelligence, Reaction Time, and Event-Related Potentials. *Intelligence* 16: 289-313

-Verzeichnisse-

78. Mohamed MA, Yousem DM, Tekes A, Browner NM, Calhoun VD (2003) Timing of Cortical Activation: A Latency-Resolved Event-Related Functional MR Imaging Study. *American Journal of Neuroradiology* 24: 1967-1974
79. Narr KL, Woods RP, Thompson PM, Szeszko P, Robinson D, Dimtcheva T, Gurbani M, Toga AW, Bilder RM (2006) Relationships between IQ and Regional Cortical Gray Matter Thickness in Healthy Adults. *Cerebral Cortex* 17: 2163-2171
80. Neisser U (1998) The rising curve: Long-term gains in IQ and related measures. American Psychological Association, Washington, DC
81. Neri P, Morrone MC, Burr DC (1998) Seeing biological motion. *Nature* 395: 894-896
82. Nettelbeck T, Lally M (1976) Inspection time and measured intelligence. *British Journal of Psychology* 67: 17-22
83. Nettelbeck T, Wilson C (2004) The Flynn effect: Smarter not faster. *Intelligence* 32: 85-93
84. Neubauer AC, Grabner RH, Freudenthaler HH, Beckmann JF, Guthke J (2004) Intelligence and individual differences in becoming neurally efficient. *Acta Psychologica* 116: 55-74
85. Neubauer AC, Fink A (2005) Basic information processing and the psychophysiology of intelligence. In R. J. Sternberg, & J. E. Pretz (Eds.), *Cognition and intelligence. Identifying the mechanisms of the mind* (pp. 68–87). Cambridge: Cambridge University Press.

86. Newman SD, Just MA (2005) The Neural Bases of Intelligence: A Perspective Based on Functional Neuroimaging. In R. J. Sternberg & J. E. Pretz (Eds.), Cognition and intelligence. Identifying the mechanisms of the mind (pp. 88-103). Cambridge: Cambridge University Press.
87. Obonsawin MC, Crawford JR, Page J, Chalmers P, Cochrane R, Low G (2002) Performance on tests of frontal lobe function reflect general intellectual ability. *Neuropsychologia* 40: 970-977
88. O'Boyle MW, Cunningham R, Silk TJ, Vaughan D, Jackson G, Syngeniotis A, Egan GF (2005) Mathematically gifted male adolescents activate a unique brain network during mental rotation. *Cognitive Brain Research* 25: 583-587
89. O'Connor TA, Burns NR (2003) Inspection time and general speed of processing. *Personality and Individual Differences* 35: 713-724
90. Osmon DC, Jackson R (2002) Inspection time and IQ. Fluid or perceptual aspects of intelligence? *Intelligence* 30: 119-127
91. Parks RW, Loewenstein DA, Dodrill KL, Barker WW, Yoshii F, Chang JY, Emran A, Apicella A, Sheramata WA, Duara R (1988) Cerebral metabolic effects of a verbal fluency test: A PET scan study. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 10: 565-575
92. Paus T (2005) Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *TRENDS in Cognitive Sciences* 9: 60-68
93. Perfetti B, Saggino A, Ferretti A, Caulo M, Romani GL, Onofri M (2009) Differential Patterns of Cortical Activation as a Function of Fluid Reasoning Complexity. *Human Brain Mapping* 30: 497-510

-Verzeichnisse-

94. Petersen SE, van Mier H, Fiez JA, Raichle ME (1998) The effects of practice on the functional anatomy of task performance. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95: 853-860
95. Pollick FE, Fidopiastis C, Braden V (2001) Recognising the style of spatially exaggerated tennis serves. *Perception* 30: 323 - 338
96. Pollick FE, Lestou V, Ryu J, Cho SB (2002) Estimating the efficiency of recognizing gender and affect from biological motion. *Vision Research* 42: 2345-2355
97. Posthuma D, Mulder EJCM, Boomsma DI, de Geus EJC (2002) Genetic analysis of IQ, processing speed and stimulus-response incongruency effects. *Biological Psychology* 61: 157-182
98. Puce A, Perrett D (2003) Electrophysiology and brain imaging of biological motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 358: 435-445
99. Reed TE, Jensen AR (1992) Pathway of With Velocity in a Brain Nerve Normal Adults Correlates Intelligence Level. *Intelligence* 16: 259-272
100. Reed TE, Jensen AR (1993) Choice Reaction Time and Visual Pathway Nerve Conduction Velocity Both Correlate With Intelligence but Appear Not to Correlate With Each Other: Implications for Information Processing. *Intelligence* 17: 191-203
101. Risberg J, Ingvar DH (1973) Patterns of Activation in the Grey Matter of the Dominant Hemisphere During Memorizing and Reasoning. *Brain* 96: 737-756
102. Roberts RD, Stankov L (1999) Individual differences in speed of mental processing and human cognitive abilities: Toward a taxonomic model. *Learning and individual Differences* 11: 1-120

-Verzeichnisse-

103. Rypma B, Berger JS, Prabhakaran V, Bly BM, Kimberg DY, Biswal BB, D'Esposito M (2006) Neural correlates of cognitive efficiency. *NeuroImage* 33: 969-979
104. Schmithorst VJ, Holland SK (2006) Functional MRI evidence for disparate developmental processes underlying intelligence in boys and girls. *NeuroImage* 31: 1366-1379
105. Schweizer K, Zimmermann P, Koch W (2000) Sustained attention, intelligence, and the crucial role of perceptual processes. *Learning and Individual Differences* 12; 271-286
106. Schweizer K, Koch W (2003) Perceptual processes and cognitive ability. *Intelligence* 31: 211-235
107. Schweizer, K. (2006). *Leistung und Leistungsdiagnostik*. Berlin: Springer.
108. Servos P, Osu R, Santi A, Kawato M (2002) The neural substrates of biological motion perception: an fMRI study. *Cerebral Cortex* 12: 772-782
109. Shaw P, Greenstein D, Lerch J, Clasen L, Lenroot R, Gogtay N, Evans A, Rapoport J, Giedd J (2006) Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature* 440: 676-679
110. Shaw P (2007) Intelligence and the developing human brain. *BioEssays* 29: 962-973
111. Shipley TF (2003) The effect of object and event orientation perception of biological motion. *Psychological Science* 14: 377-380

-Verzeichnisse-

112. Siebner HR, Rothwell J (2003) Transcranial magnetic stimulation: new insights into representational cortical plasticity. *Experimental Brain Research* 148: 1-16
113. Smith GA, Stanley G (1983) Clocking g: Relating intelligence and measures of timed performance. *Intelligence*: 353-368
114. Smith GA (1989) Strategies and procedures affecting the accuracy of reaction time parameters and their correlations with intelligence. *Person. individ. Diff* 10: 829-835
115. Sowell ER, Thompson PM, Leonard CM, Welcome SE, Kan E, Toga AW (2004) Longitudinal Mapping of Cortical Thickness and Brain Growth in Normal Children. *Journal of Neuroscience* 24: 8223-8231
116. Stewart L, Meyer BU, Frith U, Rothwell J (2001) Left posterior BA37 is involved in object recognition: a TMS study. *Neuropsychologia* 39: 1-6
117. Sundet JM, Barlaug DG, Torjussen TM (2004) The end of the Flynn effect? A study of secular trends in mean intelligence test scores of Norwegian conscripts during half a century. *Intelligence* 32: 349-362
118. Teasdale TW, Owen DR (2005) A long-term rise and recent decline in intelligence test performance: The Flynn Effect in reverse. *Personality and Individual Differences* 39: 837-843
119. Thoma RJ, Yeo RA, Gangestad S, Halgren E, Davis J, Paulson KM, Lewine JD (2006) Developmental instability and the neural dynamics of the speed-intelligence relationship. *NeuroImage* 32: 1456 – 1464



-Verzeichnisse-

120. Thompson PM, Cannon TD, Narr KL, van Erp T, Poutanen VP, Huttunen M, Lönqvist J, Standertskjöld-Nordenstam CG, Kaprio J, Khaledy M, Dail R, Zoumalan CI, Toga AW (2001) Genetic influences on brain structure. *Nature Neuroscience* 4: 1253-1258
121. Tisserand DJ, Bosma H, Van Boxtel MPJ, Jolles J (2001) Head size and cognitive ability in nondemented older adults are related. *Neurology* 56: 969-971
122. Tittle JS, Perotti VJ (1997) The perception of shape and curvedness from binocular stereopsis and structure from motion [Abstract]. *Percept Psychophys*.
123. Todd JT (1983) Perception of gait [Abstract]. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*
124. Toga AW, Thompson PM (2005) Genetics of Brain Structure and Intelligence. *Annu. Rev. Neurosci.* 28: 1-23
125. Troje NF (2002) Decomposing biological motion: A framework for analysis and synthesis of human gait patterns. *Journal of Vision* 2: 371-387
126. Troje NF, Westhoff C (2006) The Inversion Effect in Biological Motion Perception: Evidence for a “Life Detector”? *Current Biology* 16: 821-824
127. Vaina LM, Solomoni J, Chowdhury S, Sinha P, Belliveau JW (2001) Functional neuroanatomy of biological motion perception in humans. *PNAS* 98: 11656-11661
128. Vanrie J, Verfaillie K (2004) Perception of biological motion: A stimulus set of human point-light actions. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 36; 625-629

-Verzeichnisse-

129. Walhovd KB, Fjell AM, Reinvang I, Lundervold A, Fischl B, Salat D, Quinn BT, Makris N, Dale AM (2005) Cortical volume and speed of processing are complementary in prediction of performance intelligence. *Neuropsychologia* 43: 704-713
130. Waltz JA, Knowlton BJ, Holyoak KJ, Boone KB, Mishkin FS, de Menezes Santos M, Thomas CR, Miller BL (1999) A system for relational reasoning in human prefrontal cortex. *Psychological science* 10: 119-125
131. Wilke M, Sohn JH, Byars AW, Hollanda SK (2003) Bright spots: correlations of gray matter volume with IQ in a normal pediatric population. *NeuroImage* 20: 202-215
132. Winship C, Korenman S (1997). Does staying in school make you smarter? The effects of education on IQ in *The Bell Curve*. In B. Devlin, S. E. Fienberg, D. P. Resnick, & K. Roeder (Eds.), *Intelligence, genes and success: Scientists respond to The Bell Curve* (pp. 215-234). New York: Springer.
133. Witelson SF, Beresh H, Kigar DL (2006) Intelligence and brain size in 100 postmortem brains: sex, lateralization and age factors. *Brain* 129: 386-398
134. Wyk BCV, Hudac CM, Carter EJ, Sobel DM, Pelphrey KA (2009) Action Understanding in the Superior Temporal Sulcus Region. *Psychological Science* 20: 771-777

## 6.2 *Abbildungsverzeichnis*

Abb. 1: Unterteilung der allgemeinen Intelligenz nach Wechsler .....	14	
Abb. 2: Übersicht der Hirnlappen, Brodmann-Areale und Gyri & Sulci.....	18	
Abb. 3: Bsp. für biologische Bewegung, aus Servos et al. (2002).....	24	
Abb. 4: Bsp. für biologische Bewegung, aus Grossman & Blake (2001) .....	25	
Abb. 5: Chronophotographie: Mareys Anzug zur Bewegungserfassung .....	26	
Abb. 6: Bsp. für Hirnaktivierungen bei der Perzeption einer biologischen Bewegung ....	27	
Abb. 7: Walker frontal	Abb. 8: Walker seitlich.....	32
Abb. 9: Scrambled Stimulus.....		33
Abb. 10: Korrelation zwischen hIQ und RT .....		37
Abb. 11: Vergleich der RTs: Erkennen des Walkers vs. Scrambled.....		39
Abb. 12: Korrelation zwischen Hirnaktivität und hIQ .....		40
Abb. 13: Korrelation zwischen Hirnaktivität und vIQ (Ansicht von außen).....		41
Abb. 14: Korrelation zwischen Hirnaktivität und vIQ (Ansicht von innen) .....		41
Abb. 15: Antikorrelation zwischen Hirnaktivität und vIQ .....		42
Abb. 16: Antikorrelation zwischen Hirnaktivität und hIQ.....		42
Abb. 17: Vergleich der IQ-Werte: Normalverteilung vs. Probanden .....		43
Abb. 18: Korrelation zwischen GM und IQ, aus Haier et al. (2004) .....		65
Abb. 19: Korrelation zwischen kortikaler Dicke und IQ, aus Narr et al. (2006).....		68
Abb. 20: P-FIT-Modell, aus Jung & Haier (2007) .....		69

### 6.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Deskriptive Statistik der IQ-Werte .....	35
Tab. 2: Werte der Teststatistiken und p-Werte für IQ, hIQ und vIQ.....	35
Tab. 3: Werte der Teststatistiken und p-Werte für den Vergleich von IQ, hIQ und vIQ ..	36
Tab. 4: Werte des Spearman'schen Korrelationskoeffizienten zwischen hIQ und vIQ einerseits und <i>Mean RT Walker</i> und <i>Mean RT Scrambled</i> andererseits.....	38
Tab. 5: Deskriptive Statistik der RT-Werte .....	38
Tab. 6: Wert der Teststatistik und p-Wert für den Vergleich von <i>Mean RT Walker</i> und <i>Mean RT Scrambled</i> .....	38

## **7 Danksagung**

Ich möchte mich an dieser Stelle ganz herzlich bei allen Menschen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang Reith, dass ich die Möglichkeit hatte, an der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie in Homburg/Saar zu diesem interessanten Thema meine Doktorarbeit zu schreiben.

Herrn Dr. rer. med. Christoph Krick möchte ich ausdrücklich für seine engagierte und wertvolle Betreuung und Zusammenarbeit bei der Erstellung dieser Arbeit danken. Auch für die vielen fachkundigen und konstruktiven Anregungen und Diskussionen danke ich ihm recht herzlich.

Besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Christine Freitag und Frau Melanie Häberlen für die Datenerhebung im Rahmen ihrer Studie (Freitag et al., 2008) und die Überlassung der Daten ihrer Kontrollpersonen für die vorliegende Arbeit.

Abschließend danke ich meinen Freund für seine immerwährende Geduld, und dass er mich während der Erstellung dieser Arbeit stets ermutigt hat. Seine und meine Eltern haben mich ebenso in jeglicher Hinsicht unterstützt. Ich möchte mich daher an dieser Stelle von Herzen bei ihnen bedanken.

## 8 Lebenslauf

### Persönliche Angaben

Name	Sylvia Karin Langohr
Geburtsdatum	01.07.1981
Geburtsort	Stamford, Connecticut, USA

### Schulbildung

1987 - 1990	amerikanische Grundschule in Crailsheim
1990 - 1992	deutsche Grundschule in Crailsheim
1992 - 2001	Albert-Schweitzer-Gymnasium in Crailsheim, Abitur 06/2001

### Freiwilliges Soziales Jahr

08/2001 - 07/2002    Budafoki Reformierte Kirche in Budapest, Ungarn

### Studium

2002 - 2009	Studium der Humanmedizin an der Universität des Saarlandes
09/2003 - 06/2004	Erasmus-Studentin an der University of Leicester, England
09/2004	1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
10/2004 - 07/2005	Erasmus-Studentin an der Universidad de Valladolid, Spanien
02/2008 - 01/2009	Praktisches Jahr: <ul style="list-style-type: none"><li>1. Innere Medizin, Paracelsus Spital in Richterswil, Schweiz</li><li>2. Chirurgie, Mayo General Hospital in Castlebar, Irland</li><li>3. Anästhesie, Kantonsspital Liestal, Schweiz</li></ul>
05/2009	2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
06/2009	Erteilung der Approbation als Ärztin

### Berufliche Tätigkeit

seit 09/2009	Assistenzärztin am Klinikum Darmstadt, Abteilung für Innere Medizin, Prof. Dr. med. H. Wietholtz
--------------	--